

· 科学技术与社会 ·

碳移除的伦理风险与治理

Ethical Risks and Governance of Carbon Dioxide Removal

卢愿清 / LU Yuanqing

(南京信息工程大学马克思主义学院, 江苏南京, 210044)
(School of Marxism, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu, 210044)

摘要: 碳移除是实现碳中和的必要手段, 但诸多风险不容忽视。碳移除存在着不确定性风险, 技术负作用值得警惕; 它也面临着区域与行业间公平的争议, 甚至是代际公平的挑战; 它有着明显的道德风险, 减排路线易被弱化乃至有改弦更张之险。碳移除伦理风险的治理需要确立碳移除政策的公平导向, 制订碳移除有序实施的路线图, 创新碳移除限度的制度设计。

关键词: 碳中和 碳移除 气候变化 伦理 治理

Abstract: Carbon dioxide removal is necessary to achieve carbon neutralization, but the risks cannot be ignored. Carbon dioxide removal has uncertainty risks, and the negative effects should be vigilant. It is also confronted with disputes over fairness of regions and industries. It has obvious moral hazard, and the low-carbon route is easy to be weakened even facing the danger of changing route. The governance of the ethical risks of carbon dioxide removal need to establish the fair orientation of carbon dioxide removal policies, formulate a roadmap for orderly implementation of carbon removal, and innovate the institutional design of carbon dioxide removal limits.

Key Words: Carbon neutral; Carbon dioxide removal; Climate change; Ethics; Governance

中图分类号: P467 文献标识码: A DOI: 10.15994/j.1000-0763.2023.11.010

人们越来越多的认识到, 单纯依靠低碳路线来应对气候变化是不够的。碳移除(CDR)作为一种相对可靠的技术路线被正式纳入行动议程, 被视作实现1.5°C温控目标及碳中和的“至关重要”因素。碳移除似乎成了二氧化碳浓度削减的魔法。但碳移除的大规模应用显然存在着一些令人忧虑的问题: 碳移除的技术是否足够可靠? 会不会对低碳路线带来冲击? 是否会带来新的公平问题? 这些迫在眉睫的问题需要给出客观而全面的分析。本研究基于伦理与道

德视角, 对以上问题展开探索, 并在实践上给出治理建议。

一、碳移除的技术特征

长久以来, 学界与社会界均将碳移除与太阳辐射管理(SRM)统称为地球工程(气候工程), 但两条路线的技术差别极其显著。从原理上看, 太阳辐射管理强调通过对太阳辐射的反射达成降温的直接目标, 作用迅速, 但它并

基金项目: 国家社科基金一般项目“气候地球工程的伦理研究”(项目编号: 22BZX093)。

收稿日期: 2022年12月10日

作者简介: 卢愿清(1980-)男, 河南扶沟人, 南京信息工程大学马克思主义学院副教授, 研究方向为科学技术与社会。

Email: luyuanqing@126.com

未对造成气候变化的大气二氧化碳浓度形成明显影响,存在巨大的温度债务问题。碳移除技术是将二氧化碳从大气中移除,并将其较长时间的存储在地质、陆地、海洋或产品中的人类活动。^[1]碳移除可以在较长时期内降低大气二氧化碳浓度,进而达到控温效果,作用速度相对缓慢,但作用机制相对底层,温度债务问题没有太阳辐射管理路线那么急迫。

IPCC第6次评估报告(2022)《气候变化2022:减缓气候变化》将碳移除全程纳入讨论,但太阳辐射管理则只在14.4.5(International Governance of SRM and CDR)部分涉及。^[1]这事实上表明了学术界的一种共识,即太阳辐射管理面临的科学、伦理、社会、政治风险巨大,尚不成熟;碳移除技术的各类风险与之相比则小的多,已经成为人类净零排放(net-zero)未来的必要手段。

总体来说,碳移除主要包括以下几种技术类型:(1)直接空气捕获,即直接从大气中去除二氧化碳,将之压缩成液体储存在地下或用于碳中性燃料或产品中。(2)碳捕获和储存,主要针对煤电厂和其他基于化石燃料的生产设施的碳排放,在燃烧前或燃烧后的过程捕获碳并将之储存或使用。(3)生物碳(Biochar),通过将木炭埋于土壤以去除大气中的碳。植物和树木从大气中吸收二氧化碳,将植物或生物质进行低氧燃烧产生木炭,磨成小颗粒埋于土壤封存。(4)增强风化(Enhanced Weathering),将特定岩石磨粉后掺入农业(或海滩)土壤。含有硅酸盐的岩粉与水与二氧化碳反应形成碳酸氢根离子(HCO_3^-),碳酸氢根离子进入海洋转化为碳酸钙(CaCO_3),最终沉入海底。(5)海洋施肥(Ocean Fertilization),利用浮游生物群落从大气中去除二氧化碳,通过施肥,增加大量浮游藻类吸引二氧化碳,藻类死亡后生物质沉入海底,较长时间封存碳。(6)生态系统修复(Ecosystem Restoration),通过森林生态群落恢复吸收并储存大量的二氧化碳。(7)蓝碳(Blue Carbon),主要包括沿海的盐沼、海草草地、红树林和海带林,保护和恢复蓝碳生态系统将从大气中去

除较多的二氧化碳并长期储存。

从碳移除的技术特征来看,上述碳移除方法各有差异。(1)以消耗能源的角度区分,直接空气捕获、碳捕获与储存、生物碳、增强风化等手段需要耗费较多能源,而生态系统修复与蓝碳消耗能源的数量较少;(2)以碳移除的数量来看,蓝碳的潜力较少,农业林的潜力较大,碳捕获与储存的规模也较大;(3)从方法的成熟度来看,海洋施肥等方法较不成熟,而蓝碳、造林则较为成熟;(4)从作用的机理来看,主要分为生物、化学、地球化学的方法;(5)从作用周期来看,植被与生物碳方法存储时间大概几十年至几百年,而增强风化等地质方法的作用时间则要久的多。(6)从本土实施动机来看,诸如生态系统修复、蓝碳等手段具有保护环境的直接本土利益,但直接空气捕获与生物碳等技术并未对本国环境产生直接效益,移除的碳仅仅具有世界意义而无本土直接价值,^[2]此类技术的本土应用动机较弱,有赖于制度与机制的创新。

以上碳移除技术特征的分析事实上表明了碳移除技术实施的核心挑战:技术潜力、成本效益、持久性以及其他的益处和风险。^[3]这也意味着,碳移除的技术可靠性在走向成熟的同时,却面临着技术政治层面的巨大挑战。^[4]公平与责任分担的诉求、“表层治疗”的本质、科学不确定性等都是急需讨论的问题。本研究正是围绕着这些核心争论展开探索并寻求治理之道的。

二、碳移除的伦理挑战: 不确定性、公平与道德风险

尽管与太阳辐射管理相比,碳移除的伦理风险大为降低,但这并非意味着万事无忧,它依然面临着不确定性风险、公平挑战与道德风险。这些问题事关碳移除路线实施的效率与效果。

1. 碳移除的不确定性风险

碳移除面临着科学的不确定性风险问题,不同方案可能会引发不同的负作用,同一方案

也会因自然条件变化而产生不可知的结果变化。

第一，碳移除面临着效果不确定的可能。以植树造林或是保护森林等恢复生态的方案为例。它能够起到移除大气二氧化碳的作用，但同样面临着不确定性。一是不同气候条件下的森林的储碳能力是不同的。事实上，气候变化模型中的一个关键不确定性便是热带森林的热敏感性（thermal sensitivity）及对碳通量（carbon fluxes）的影响。沙利文（Martin J. P. Sullivan）等人发现森林热敏感性主要由白天的高温决定。这种极端条件会抑制生长速度并通过在炎热干燥的条件下杀死树木来缩短碳在生态系统中的停留时间。气候变化幅度越大，热带森林碳储量的损失就越大。^[5]简单的说，极端条件既让树木长的慢又让树木容易死亡，这意味着树木储存二氧化碳的速度会变慢且容易重新释放到大气中去。二是森林面积也易因意外因素而将储存的碳重新释放到大气中。森林是碳存储器也是缓冲器，树木的正常存活周期是碳移除功能的基础。通常来说，如果森林碳储量免受诸如清除、伐木或火灾等直接影响，那么在温和的气候变化下，森林碳储量可能会保持较高水平。但是，根据并不完全的数字，全世界年均发生森林火灾22万余起，过火面积约1000万公顷。^[6]一把大火将会使得这片森林长达数年甚至数十年存储的二氧化碳重新释放到大气中。这说明植树造林路线的碳移除措施面临着巨大的不确定性。

第二，碳移除面临着技术副作用风险。比如，增强风化、海洋施肥等手段可能会对环境造成不良影响，对土壤安全及海洋或水道的水生态系统和生物群落形成伤害。比如增强风化技术中的颗粒是可吸入的，碎石的生产、运输都可能对接触的人产生健康风险。开采、收集与实施生产都可能影响环境，需要全面评估及开发粉尘缓解策略。^[10]同时，目前增强风化主要集中在富含超镁铁质橄榄石（ultramafic olivine）的岩石上，但包括橄榄岩在内的大多数超镁铁质岩石都含有高浓度的铬、镍或两者兼有。通过超镁铁质岩实施大规模碳封存可能

会导致食品链有害化学物质超标或出现过去没有过的有害化学物质。更重要的是，所有的碳移除方案都面临着大规模应用的未知挑战。实验室的结果能否可靠的推论出宏大尺度的部署？这些大规模部署是否会引发生态、能源甚至是民生领域的重大变化？大规模部署的成本收益评估是否可知与可靠？一旦大规模部署不奏效，子孙后代可能会陷入巨大的气候变化影响、巨大的缓解成本和不可接受的取舍窘境。^[7]

第三，碳移除面临着资源挤占的风险。自然过程的碳移除虽然周期长、见效慢，但占用的能源较少。^[8]比如，植树造林或是恢复森林、红树木等，仅需消耗树木及其他材料运输所需要的能源，但它会占用土地与水资源。另外一些碳移除技术涉及大量的化学转化过程，且这一过程需要消耗较多的资源。比如，大规模实施生物质能源碳捕获与封存需要消耗土地和水，而这些资源原本是由于生产食物和维持自然生态系统的。菲尔德（Christopher B. Field）对IPCC报告中包含碳移除的综合模型进行了评估，发现生物质能源碳捕获与封存最多可能占用当前全球耕地总面积的25%至80%，极限状态下甚至高达地球陆地面积的8%。^[7]他强调以如此惊人的规模改造土地将使气候变化应对与粮食安全及生物多样性保护相冲突。大规模扩张的碳移除土地占用可能会突破土地可持续利用的边界。生物碳与碳捕获路线与其他资源或土地利用存在明显的竞争关系。^[9]增强风化技术中，如果考虑抵消大规模岩石开采、研磨及运输所需的能源成本，碳封存效果将下降约8-33%。^[10]并且，所有这些消耗的资源成本都是在不断变化的，大规模实施面临着更大的资源成本挑战。^[11]一切都在昭示，碳移除并非想象中的一本万利。

2. 碳移除的公平挑战

莫罗（David R. Morrow）在谈及碳移除时旗帜鲜明的指出：“北半球将清理碳污染的责任转嫁给南半球显然是不公平的”。^[11]显然，碳移除在哪里实施，实施的规模是多大，谁来实施，损害谁来补偿以及代际公平问题，都是碳移除必须直面的公平正义方面的挑战。

比如生物质碳捕获和增强风化技术,需要在热带地区的大量土地上进行,但这些区域在历史上恰恰排放很低。居住在那里的(通常是严重贫困的)人们将面临不确定风险,例如来自有毒副产品的风险。^[12]问题是,在这些历史上低排放的土地上实施碳移除,这对当地居民是公平的吗?当地居民可以朴素的发问:为什么我们从未大量排放却用我们的土地来进行碳移除?为什么那些享受了高排放工业福利的区域却不用他们自己的土地来进行碳移除?这些问题的回答自然是艰难的。再比如植树造林路线,存在明显的耕地与树林的争夺问题。在中国这样可以集中力量办大事的制度下,国家可以统筹协调区域发展,拥有一系列补贴、移民、替代工作岗位等政策工具来应对造林对耕地的影响。但大多数西方国家,包括世界上大多数小国,面临着政策工具不足、统筹能力不强的情况。比如乌干达曾经因为保护森林而导致不少人口生活受到冲击。这些受影响又没有足够补偿的公众会提出公平方面的质疑:为什么恢复林地一定是我们这里恢复?为什么不可以是城市拆除楼房来植树?拆除楼房种林与退去耕地种林都会让人损失,但为什么是乡村受损而城市却没有?

再比如采取碳移除的工业企业的责任问题。一方面,按照污染者付费原则,这些企业需要为其排放的碳的移除支付成本;另一方面,又有学者担心这些企业如果大规模碳移除,会为其提供逃避减排责任的借口,它们将会更加肆无忌惮的排放二氧化碳,因为它们有经济与技术能力将排放的碳收集并储存起来。这样是公平的吗?它们封存了排放的碳就可以逃避减排的责任吗?比如有两家公司,一家公司通过能源转型与效率提升大大降低了碳排放量,另一家公司没有采取同样手段,而是采取了碳移除工具,最终两家公司向大气中的排放是一样的。那么,两家公司对于排放承担的责任是同样的吗?答案当然是否定的,前者明显承担了更多的社会责任。如果两家公司得到了制度与机制上的平等安排,无疑是不公平的。

此外,碳移除还牵扯到代际公平问题。碳

移除的原理主要是通过各种方式吸收与捕获碳并将之封存于土壤、植物或岩石颗粒,进而埋入地底或沉入海洋。其中,植被与生物碳方法存储时间大概几十年至几百年,增强风化等地质方法的作用时间较长些。但作用周期哪怕再长,二氧化碳也终有逃逸而出的那天。本质上,碳移除是当代人把二氧化碳封存,解除了今世代的危机,却把危机留给了未来世代。那么,未来的子孙后代会同意吗?他们到时候有能力解决危机吗?当代人不能做盲目的技术乐观主义者,认为随着技术的进步,未来一定可以解决碳封存的逃逸,这是对未来不负责任的表现。

3. 碳移除的道德风险

碳移除的技术原理决定了它只是解决气候变化问题的“治标”之路,而非“治本”之道。全球变暖的真正原因是不可持续的生产与消费模式所引发的碳排放数量的激增,其中最重要的是高碳的工业生产与居民生活。^[13]因此,目前科学界与国际社会公认的气候行动策略是绿色低碳的“治本”之道,它涉及到化石燃料使用的大规模降低,电气化水平的提升,能源效率的增强,替代燃料的开发等一系列技术与经济变革,是生产方式与生活方式的根本性转换。从气候变化应对策略来看,大气二氧化碳浓度的降低只是手段而非目的,单纯依赖碳移除技术而抛弃低碳路线会让人类陷入饮鸩止渴的虚妄。碳移除只能实现特定时间段的大气二氧化碳浓度的降低,这些被封存的二氧化碳随着时间推移将会无可避免的再次释放到大气中,其“治标”的本质属性不可忘却。简单的说,碳移除是“亡羊补牢”,碳减排则是“釜底抽薪”,两者不应当拥有相同的道德地位与政策优先度。

遗憾的是,碳移除这种看似“治本”实则“治标”的方案具有明显的迷惑性,它面临着更高的道德风险。首先,它宣称解决的是大气二氧化碳浓度问题,普通公众很容易将之理解为解决气候变暖的根本之道,这样一个便捷而无需做出生活方式重大改变的方案很容易获得公众的支持。其次,碳移除路线的很多措施具有天然的环境友好特性,比如恢复树林、种植新林、

修复红树林、保护沼泽等，人们对碳移除技术更易有好感。但这些措施的碳移除潜力是有限度的。如果我们不进行生产与生活方式的彻底变革，依然毫无节制的掠夺化石能源，享受化石能源带来种种生活便利，沉醉于低成本而又舒适的气候环境，被眼前的临时性碳移除方案蒙蔽了双眼，那么，人类种再多的森林也无法抵消自身的贪婪而导致的碳排放。最后，也是更危险的是，部分国家与行业是否会通过选择碳移除技术而对排放一切照旧？^[12]是否更容易给负有重大历史排放责任的西方国家以“修复”而非“革命”的理由？^[13]这种道德风险事关全球气候行动成败，需要高度警惕。

概言之，碳移除可能会给人类带来技术乐观主义的狂妄与高排放生活享乐的放纵，它有可能使低碳路线面临着有意或无意的弱化，甚至改弦更张的危险。这种道德风险在不断的提醒公众与社会，碳移除决不能让我们进入这样一个坏的世代：一边解决气候变化，一边又允许世界继续疯狂燃烧化石燃料。碳移除的出现不是为了让世界可以继续肆无忌惮的排放，而是为了更快的实现碳中和，达成净零排放，进而实现气候中和（climate-neutral）。

三、碳移除伦理风险的治理： 有序、公平与限度

随着碳移除的规模化实施，伦理风险出现的概率将大为增加。碳移除伦理风险的治理需要制订碳移除有序实施的路线图，减少科学的不确定性影响；确立碳移除政策的公平导向，保护脆弱群体；创新碳移除限度的制度设计，防范道德风险。

1. 制订碳移除有序实施的路线图

决策者应当充分认识到碳移除路线的不确定性风险，在战略上对碳移除做出稳健、长期、统一的计划，科学处理好碳移除路线实施中整体与局部、短期与长期、效率与安全的辩证关系，最终实现从“试点运行”“兼而有之”到“有序退出”的战略安排。

首先要尊重科学规律，处理好碳移除战略

安排的几对关系。一是整体与局部的关系。各区域资源禀赋不同，对各类碳移除技术的适应性不同，在国家层面对碳移除总量进行把握的前提下，鼓励各地展开更具本地特色的碳移除局部安排，形成优势互补的整体状态。二是短期与长期的关系。不同的碳移除技术见效速度不同、储碳时限不同，根据碳移除任务的轻重缓急，合理做好各类技术实施的时间管理。三是效率与安全的关系。坚持安全前提下的效率观，各类碳移除技术的安全性是第一要务，没有安全保障的碳移除效率容易偏离方向，南辕北辙。

其次要把握发展节奏，统筹安排碳移除的周期性战略。碳移除应当遵循“试点运行”“兼而有之”到“有序退出”三个阶段逐步演进的路线。“试点运行”阶段主要有两大方向。一是先行大规模开展较为成熟的碳移除方案，如植树造林、恢复森林等；二是局部展开生物能源碳捕获与储存、直接碳捕获、增强风化等技术并进行效果、环境、能源与社会影响的综合评估。根据综合评估结果，遴选出兼具成本、效益与环境友好的适合大规模实施的技术路线。“兼而有之”阶段，以碳减排路线为主，同时通过降低碳移除成本与技术风险，以较大规模的碳移除技术应用为有益补充，实现两者同步运行，以期显著控制向大气中排放二氧化碳的数量，减少未来气候变化恶化的风险。“有序退出”阶段，随着逐步实现或接近实现《巴黎协定》中规定的自主贡献目标，逐步有序的退出消耗能源较多的非自然生态的碳移除技术，基本实现以能源转型为主线的控温目标，彻底实现人类生产与生活方式的变革，从根本上削弱气候进一步变暖的风险。

2. 确立碳移除政策的公平导向

“碳不仅是碳”，碳移除的政策必须充分考虑正义因素，在制度安排上平衡效率与公平。

一方面，强化碳移除责任的公平分担。一是国际层面的碳移除责任划分问题。目前各国已经开始主动承担起一些碳移除责任，但各个国家自行其事的结果是缺乏碳移除目标实现的可靠性，正如菲森（Claire L. Fyson）指出的

那样, 缺乏国家碳移除义务框架意味着碳移除的实施已成为气候政策中的“烫手山芋”(hot potato)。^[2] 如何按照共同但有区别的责任原则实现碳移除的数额分配, 是一个综合的科学与政治问题。它不仅需要考虑全球效率的最大化与全球成本的最小化, 更应当从实施与财务的角度确保公平。二是国家层面的碳移除责任划分问题。基于资源禀赋、经济基础、碳排放量等因素对国内各区域进行碳移除责任的划分, 基于行业能源效率、能源种类、减排潜力、重要程度等因素对国内各行业进行碳移除责任的划分。

另一方面, 充分保护受碳移除负面影响的群体。一是正确把握好碳移除与民生的关系。对碳移除技术做详尽科学的综合技术评估, 防范碳移除技术对当地居民生活、经济、环境的负面影响, 不能出现因碳移除而致贫、致病等衍生负面作用。二是开发更多、更灵活的政策工具。开发激励当地居民参与碳移除实施的措施, 实现居民意愿与收入的双重提升。对于退耕还林或其他生态修复而导致生活或经济活动受到较大影响的居民, 综合采取搬迁、补贴、转移支付等手段予以激励。比如乌干达对当地居民实施了“碳换现金”政策尝试, 通过“生态系统服务付款计划”(payments for ecosystem services), 向拥有并持续保护自己森林的家庭提供每年每公顷70000乌干达先令(约126元人民币)的付款, 有效减少了森林砍伐。^[14] 三是制订基于社会正义的问责机制。要求任何既定的碳移除实施项目公开项目细节及承诺, 确保项目的透明度水平。^[11] 基于环保部门建立问责机制, 对碳移除项目运行情况监督, 对出现与项目承诺不符的伤害社会正义的情况, 予以问责。

3. 创新碳移除限度的制度设计

碳移除的道德风险使得制度设计面临两难: 一方面碳移除需要激励, 它确实为大气二氧化碳浓度控制起到较长时间的缓解, 对于缓解人类面临的严峻气候局面有着积极作用。另一方面, “碳移除只是长期气候战略的一部分, 减少温室气体排放必须始终是该战略的核心”。

^[11] 这意味着对于政策决策者来说, 既希望碳移除得到充分的投资与发展, 又不希望对减排主线造成扰动。

为解决这一问题, 本研究提出了碳移除限度的概念, 并基于此概念对相关制度进行探索。所谓碳移除的限度即碳移除总量与碳减排总量的最大比值。设定限度的根本目的在于防止碳移除带来的锁定风险(即道德风险)。碳移除的限度不仅是一个科学问题, 更是一个政治问题, 需要综合考虑利益动机、产业规模、技术潜能、公众意愿来进行科学规划, 制订符合中长期气候行动的碳移除限度, 并作为一种约束性指标对碳移除进程进行规制。

作为一种约束性指标, 碳移除的限度如何在实践中运行呢? 本研究认为关键在于分离两种“碳”目标与市场。碳移除与碳减排的目标与计算应当分离,^[15] 这种分离不仅保障了碳移除投资与实施的激励与碳减排路线稳定之间的平衡, 也使得全球气候行动措施更加透明严谨。^[16] 两种“碳”市场的分离也有利于构建更为积极的互动机制。另外, 政府基于碳限度下的引导性财政支持也有利于碳移除的良性发展。

一是分别设定碳减排与碳移除的目标与时间表。创新碳移除与碳减排任务的战略目标分配机制。基于《巴黎协定》设定的国家自主贡献, 基于现有碳排放量与碳移除潜力等维度, 合理制订碳移除与碳减排总体比例上限。把控碳减排与碳移除的主次关系, 推进重点行业与领域的碳移除计划。对于能源强度高、化石能源依赖大的行业, 比如建筑、重工业和重型运输等较难脱碳的行业在推进能源效率提升的同时, 加大碳移除技术的开发与应用。

二是分离碳减排与碳移除两种碳交易系统。两类市场的分离有两种选项, 要么在现有碳交易市场外另设单独的碳移除市场, 要么将碳移除纳入现有碳交易市场。碳交易市场的总量与两类碳的价格需要重新考虑, 除了保证碳移除的补充作用,^[17] 也避免碳补偿与交易市场相混合带来的巨大利益冲击, 对公平造成负面影响。无论何种形式, 碳交易的政策安排是以国家或区域排放总量控制为前提的。本研究倾

向于支持将两类市场单独设置。支持性的理由有三点，一是便于建构更具透明度的市场体系；二是避免了两类市场混合造成碳锁定或次优资源配置，^[18]增加总成本；三是禁止碳移除与碳减排之间的抵消，将会推高碳交易市场的价格，而较高的碳交易价格也会进一步推动碳减排。

三是有选择的为碳移除企业提供财政支持。碳限度意味着政府对碳移除行业只能进行选择性的鼓励，而非大水漫灌式的支持，否则将对碳减排路线形成冲击。政府对于碳移除的财政支持至少可以采用两种方式。一是直接补贴碳移除行业，对于可以融合采矿区环境治理（如增强风化）或使用清洁能源的（如太阳能或风能电力驱动的直接空气碳捕获）环境友好型项目给予重点财政支持，加大相关投资力度并引导行业发展方向。二是使用政府采购的方式，对碳移除企业捕获并储存的二氧化碳额度进行采购，这种采购既为相关企业提供了资金支持，也可以从市场端筛选碳移除企业，促进碳移除企业的效率提升。政府资金的来源可以是多元的，欧盟提供了一种有益的尝试。2022年欧盟创新基金对七个大型项目签署了11亿欧元的赠款协议，资金来源于碳交易市场的收入，其中多数是碳移除项目或与碳移除项目密切相关。这种以“减碳”市场收入来补贴碳移除技术发展的思路不仅部分解决了行业资金来源问题，更从机制上让公众明白了“干净的钱”让“空气更干净”这样的简单逻辑，更易获得公众的支持。

结 语

实现碳中和，碳移除已经成为必选项。与许多善意的政策一样，魔鬼在细节中，“扩大碳利用（移除）不一定有利于气候稳定”。^[8]无论是科学不确定性风险、道德风险还是公平挑战，都是必须直面的问题。碳移除已经在世界上很多国家和区域进行了试点，一些鼓励性的政策也相继出台。但碳移除政策应当坚持公平优先的原则，切实保障弱势群体的利益；决策者应当在战略上对碳移除做出稳健、长期的

计划，规避不确定性风险；政府更要警惕碳移除可能的碳锁定风险，严肃考虑碳移除的限度问题，辩证统一的安排减排战略与碳移除战略。当然，还有一些更为细节的问题，比如碳移除如何获得公众信任，如何打消他们对于环保方面的疑虑，如何制定一个更加健全的监管框架，以防止公司和行业的寻租行为等。这些问题有待后续进一步开展研究。

【参 考 文 献】

- [1] IPCC AR6 WG III. 'Summary for Policymakers, Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change' [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2022, 48.
- [2] Fyson, C. L., Baur, S., Gidden, M., et al. 'Fair-share Carbon Dioxide Removal Increases Major Emitter Responsibility' [J]. *Nature Climate Change*, 2020, 10(7): 836–841.
- [3] Abouelnaga, M. 'Carbon Dioxide Removal: Pathways and Policy Needs' [EB/OL]. <https://www.c2es.org/wp-content/uploads/2021/06/carbon-dioxide-removal-pathways-and-policy-needs.pdf>. 2021-06-10.
- [4] Pozo, C., Galán-Martín, Á., Reiner, D. M., et al. 'Equity in Allocating Carbon Dioxide Removal Quotas' [J]. *Nature Climate Change*, 2020, 10(6): 640–646.
- [5] Sullivan, M. J. P., Lewis, S. L., Affum-Baffoe, K., et al. 'Long-term Thermal Sensitivity of Earth's Tropical Forests' [J]. *Science*, 2020, 368(6493): 869–874.
- [6] 李慧. 今春我国森林草原火灾不足800起 [EB/OL], 国家林业和草原局政府网, <http://www.forestry.gov.cn/main/72/20200620/090506366863015.html>. 2020-06-20.
- [7] Field, C. B., Mach, K. J. 'Rightsizing Carbon Dioxide Removal' [J]. *Science*, 2017, 356(6339): 706–707.
- [8] Hepburn, C., Adlen, E., Beddington, J., et al. 'The Technological and Economic Prospects for CO₂ Utilization and Removal' [J]. *Nature*, 2019, 575(7781): 87–97.
- [9] Eufrasio, R. M., Kantzas, E. P., Edwards, N. R., et al. 'Environmental and Health Impacts of Atmospheric CO₂ Removal by Enhanced Rock Weathering Depend on Nations' Energy Mix' [J]. *Communications Earth & Environment*, 2022, 3: 1–13.
- [10] Taylor, L., Quirk, J., Thorley, R., et al. 'Enhanced Weathering Strategies for Stabilizing Climate and Averting Ocean Acidification' [J]. *Nature Climate Change*, 2016, 6(12): 402–406.
- [11] Morrow, D. R., Thompson, M. S., Anderson, A., et al.

- 'Principles for Thinking About Carbon Dioxide Removal in Just Climate Policy'[J]. *One Earth*, 2020, 3(2): 150-153.
- [12] Lawford-Smith, H., Currie, A. 'Accelerating the Carbon Cycle: The Ethics of Enhanced Weathering'[J]. *Biology Letters*, 2017, 13(4): 1-6.
- [13] Cox, E. M., Pidgeon, N., Spence, E., et al. 'The Ethics and Policy of Greenhouse Gas Removal at Scale'[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2018, (6): 1-7.
- [14] Jayachandran, S., De Laat, J., Lambin, E. F., et al. 'Cash for Carbon: A Randomized Trial of Payments for Ecosystem Services to Reduce Deforestation'[J]. *Science*, 2017, 357(6348): 267-273.
- [15] Lee, K. 'Fair Distributions of Carbon Dioxide Removal Obligations and Implications for Effective National Net-zero Targets'[J]. *Environmental Research Letters*, 2021, 16(9): 1-11.
- [16] Kachi, A., Warnecke, C., Höhne, N. 'The Role of International Carbon Markets in a Decarbonising World'[R]. *Cologne: New Climate Institute*, 2019, 18.
- [17] McLaren, D. 'Quantifying the Potential Scale of Mitigation Deterrence from Greenhouse Gas Removal Techniques'[J]. *Climatic Change*, 2020, 162(3): 2411-2428.
- [18] McLaren, D., Tyfield, D., Willis, R., et al. 'Beyond "Net-Zero": A Case for Separate Targets for Emissions Reduction and Negative Emissions'[J]. *Frontiers in Climate*, 2019, 1(4): 1-5.

[责任编辑 李斌]