

绿色转型背景下实现碳中和的技术和前景

谢文昕

(济南大学, 山东 济南 250024)

摘要 自工业革命以来, 全球发展严重依赖于对自然资源的过度开发。随着化石燃料的广泛使用、森林砍伐和其他形式的土地使用, 人类活动导致了大气中温室气体 (GHGs) 浓度的不断增加, 导致了全球气候变化。为了应对日益恶化的全球气候变化, 实现 2050 年的碳中和, 改革目前的生产系统以减少温室气体排放和促进从大气中捕获二氧化碳是极为重大的挑战。本文综述了为实现碳中和和可持续发展提供解决方案的创新技术, 包括可再生能源、碳汇节约和 CCUS 技术等。整理总结的可行技术可以激励全球社会, 推动创新技术的进一步发展, 以减缓气候变化和促进全球可持续发展。

关键词 碳中和 可再生能源 碳捕获 绿色转型

中图分类号: X5

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)11-0070-03

1 前言

工业化作为经济增长和城市化的引擎, 加速了世界经济的发展。在过去的两个世纪里, 世界经济已经严重依赖于对自然资源的过度开发。目前, 石油资源的大量使用和森林砍伐等对生态不利的做法是全球温室气体 (GHGs) 的人为源排放增加的根源, 而 GHGs 是气候变化的主要驱动因素。预计到 2050 年, 温室气体排放将增加 50%。如果这些排放继续以目前的速度增长, 它将推动碳循环脱离动态平衡, 导致气候系统不可逆转的变化。因此, 必须通过各种社会经济和技术干预, 努力减少碳排放和增加碳封存来应对日益加剧的全球温室效应。各国于 2015 年签署了一项具有里程碑意义的联合国气候协议《巴黎协定》, 共同应对温室气体排放和气候变化, 努力将全球平均气温较前工业化时期上升幅度控制在 2 摄氏度以内, 并争取在 2050 年前实现碳中和^[1]。

为了实现碳中和并使地球可持续地发展, 减少化石燃料等的碳排放, 同时促进陆地和海洋生态系统的碳封存至关重要。不同的国家已经制定了实现碳中和的不同战略路径^[2], 但由于所涉及的通量的规模, 将碳排放减少到净零是具有挑战性的。根据国际能源机构的说法, 如果世界要在 2050 年达到碳中和, 那么新原油、天然气和煤炭的开采和开发必须在 2021 年停止。因此, 研究和利用无碳来源的可再生能源 (即阳光、潮汐、风和地热能等) 和生物质 (即来自植物或动物的有机材料) 是使二氧化碳净零排放从理论变成现实的关键。

可再生资源可提供的能源是目前全球能源需求的

3000 多倍。过去十年全球对可再生能源 (以电力、热能和生物燃料的形式) 的需求大幅扩大, 但从传统能源向可再生能源过渡的速度不够快, 因此需要通过多学科研究团队的合作来实现能源转型。除了发展可再生能源外, 还需要优化粮食系统的管理, 以提高生产效率和减少碳排放, 这可以通过开发新技术来改善化肥生产和精准农业, 整合作物-牲畜生产系统, 以及开发碳中和的粮食生产系统来实现。鉴于世界不太可能在短期内大幅减少以化石燃料为基础的二氧化碳排放, 利用自然资源从大气中去除二氧化碳是实现碳中和的可行途径。为了减缓气候变化, 人们正在研究通过工业手段加强大气中碳的捕获以及陆地和海洋生态系统中碳的隔离等各种潜在战略。这些措施包括碳捕获和储存的生物能源^[3]; 通过散布破碎的矿物增强岩石风化, 这些矿物自然能够在陆地或海洋中吸附二氧化碳; 植树造林和再造林; 通过生物炭、堆肥、生物废弃物直接掺入和保护性耕作等方法进行土壤碳封存。

已经有许多综述探讨了实现碳中和的途径, 重点是可再生能源、陆地和海洋生态系统中的碳捕获和储存以及粮食系统转型。然而, 整理文献所知, 没有任何研究将所有现有新技术的优势和挑战从碳中和角度进行比较, 也没有强调这些新技术在减缓气候变化方面的不确定性。本次综述重点关注在不同领域实现碳中和的新技术, 包括可再生能源和维持地球上最大碳库的健康 (恢复和保护海洋和森林生态系统) 等。本文传播的信息希望丰富对实现碳中和和联合国可持续发展目标新途径的有关研究。

2 可再生能源

对不可再生能源的过度消耗加剧了能源短缺、温室气体排放、气候变化和环境退化,对人类构成威胁。因此,人类的生态意识和向低碳或无碳能源的过渡得到史无前例的关注。为解决这些问题,已在全球范围内制定了一系列政策。在清洁能源中,可再生能源,如太阳能、风能和海洋能,被认为是实现碳中和的最重要有效的手段。除了具有低资源消耗、低污染风险的核能和H₂能源被确定为保障国家能源安全、实现“碳中和”目标的战略途径外,生物能源也是调整能源供需结构的关键。下面讨论可再生能源的核心技术以及这些技术对实现碳中和的影响,并对这些技术的发展前景和可行性进行了展望。

2.1 太阳能

太阳能是取之不尽用之不竭的资源。由于其清洁可再生和无处不在的特性,太阳能可以在全球可再生能源供应中发挥重要作用。目前,化石资源仍然占世界能源消费的主要地位。相比之下,不产生碳排放的太阳能、水力发电、风能和潮汐能只占能源消耗的小部分。要实现碳中和,就必须增加可再生能源的使用。因此,用来自阳光的可再生能源取代传统的化石燃料是非常可取的,对于减少二氧化碳排放和使能源系统脱碳从而实现碳中和至关重要。快速发展的光伏技术已被公认为是利用太阳能的有力方法。传统薄膜太阳能电池采用无机半导体,如硅、砷化镓(GaAs)、铜、铟、硒化镓和碲化镉(CdTe)材料,由于具有高的功率转换效率和显著的运行稳定性,已大规模工业化。近年来,有机太阳能电池、钙钛矿太阳能电池、量子点太阳能电池和其他集成器件等新兴的太阳能电池已成为有发展前景的光伏技术^[4]。此外,太阳能电池板和光伏并网系统对发电也至关重要,并可能加速我们碳中和的进程。与光伏技术不同,太阳能热技术依靠光热转换来实现碳中和操作的热、蒸汽和电力生产。当太阳能热技术,例如集中太阳能发电系统,被用于商业和住宅部门以取代天然气作为能源来源时,可以观察到化石燃料的能源消耗和二氧化碳排放均有明显减少。除了光伏和太阳热技术,一些将太阳辐射转化为稳定化学燃料的策略也为大规模利用和储存太阳能以实现能源脱碳提供了可行的途径。最近,有人提出了液体阳光的新概念,将太阳能与捕获的二氧化碳和水结合起来,产生绿色液体燃料,如甲醇和酒精,这可能在地球生产系统中产生和利用二氧化碳之间实现生态平衡循环。太阳能是满足低碳和无碳社会能源需求的理想解决方案。基于太阳能技术的一系列有效措施,由于运行成

本低,是减少碳排放、利用CO₂形成清洁储能的良好选择,对实现碳中和具有不可替代的作用。未来几十年将需要加快发展先进的能源转换/存储技术,大规模部署太阳能与清洁资源相结合,促进碳中和目标的实现。

2.2 风能

风是由于太阳对地球表面不均匀加热而产生的空气运动的结果,这意味着风能可以被看作是间接的太阳能。与太阳能一样,风能将在实现“双碳”目标上发挥关键作用。地球上有丰富的风资源,主要分布在草原、沙漠、沿海地区和岛屿。选址对风力发电的经济性、技术性和实施具有重要影响。世界各国都高度重视并大力支持风能的发展^[5]。然而,阻碍风能利用的一个问题是风力涡轮机产生的噪声,降低或最小化风力涡轮机产生的噪声,进一步合理利用风力资源的策略是迫切需要的。关于风能生产的另一个问题是,如果风力涡轮机的位置不合适,它们可能会通过碰撞、破坏栖息地破坏对鸟类产生不利影响。尽管地球上的风能资源丰富,但风力资源在陆地上的分布不均给风力涡轮机产生的电能的运输带来了挑战。而风在速度和方向上的不可预测性质,会导致发电的相位、振幅和频率变得不稳定,这可能会使其难以并入电网,造成风能的浪费。安装风力涡轮机的成本目前相当高,这也阻碍了这项技术的广泛采用,有必要加大力度探索 and 开发风能技术,以满足能源用户的需求。

2.3 海洋能源

海洋能源是指海洋水体中所含的既可再生又清洁的能源。海洋能源在全球范围内储备是巨大的,足以为世界提供能源。通常有五种不同的能量形式:潮汐能、波浪能、海流能、海水温差能及盐度梯度能。不同能源形态的地理分布差异很大,利用技术也有很大差异。潮汐能是源于海水与月球或太阳的引力相互作用,包括与水位有关的势能和潮流的动能。据估计,潮汐能每年约为1200太瓦时,这在所有海洋能量形式中是相对较低的,因为可以收集潮汐能的地点有限。采用拦潮坝来收集潮汐势能的技术相对成熟。潮汐坝于20世纪60年代开始运行,目前潮汐能在被开发的海洋能源中占最大份额。波浪能是水波的动能和势能,分布广泛,它主要来自风,风将部分动能传递到海洋表面的水。全球波浪能的潜力是每年29500太瓦时,收集波浪能的技术不如收集潮汐能的技术成熟,许多不同类型的装置正在进行小规模商业化试验。除了使用电磁发电机的传统大型设备外,基于摩擦电纳米发电机网络的新技术也正在发展,以实现有效的、经济的波浪能收集。海流能储存在全球海水的大循环中,

它是水流的动能,这种能源的供应是稳定的,波动很小,它可以用涡轮机来提取,该设备需要部署在深海和远离海岸的地方,因此,在利用这种能源方面投入的精力较少。海洋温差能来自太阳的照射,它加热了海水的上层,使其温度不同于深海的水,这种温差可以主要利用热循环发电,由于提高效率所需的高温差异,这种形式的能源主要分布在热带地区,这种能源的潜力估计为每年44000太瓦时,但对于这种能源的利用还处于研究阶段。盐度梯度能是存在于不同盐浓度水体之间的能量,海水的盐度在全球范围内不是均匀的,这种能量的利用依赖于在海水中表现强劲的高性能膜。目前正在试验两种主要技术:压滞渗透和反向电渗析。盐度梯度能仍然是一种概念能源,还没有做好商业化的准备。海洋能源储备在全球范围内是巨大的,足以为世界提供能源。收集潮汐能和波浪能的技术已经接近商业化。收集海流能、海水温差能和盐度梯度能的技术仍处于早期发展阶段。海洋能源开发的主要挑战在于恶劣海洋环境下的经济、成本、竞争力和技术可靠性。通过克服这些挑战,海洋能源将为世界提供丰富的清洁能源。

3 氧化碳捕获、利用和储存技术

CO₂捕获、利用和储存(CCUS)技术包括三个不同的过程:从排放源分离CO₂、CO₂转换和利用运输与大气长期隔离的地下储存。CCUS是实现二氧化碳减排目标的必要技术国际能源机构(IEA)预测,仅靠提高能源利用效率和调整能源结构不能完成减排任务,到2050年必须捕获和储存19%的CO₂排放,才能将全球气温上升控制在2℃以下。如果没有CCUS,到2050年,CO₂减排的总成本将上升70%。

4 结论和未来展望

目前,随着全球朝着碳中和的方向发展,国际社会必须从不可再生能源转向可再生能源,以维持当前的生态系统,并解决气候变化问题,以保护人类健康和环境。如本文所述,在能源和工业生产系统中利用可再生资源,促进陆地和海洋生态系统的碳封存,被视为实现碳中和和可持续发展目标的可能途径。然而,目前的研究水平还没有解决在生产系统中有效利用可再生资源 and 减少依赖化石燃料的问题,许多问题仍然需要科学、社会经济政治和技术解决方案,旨在全球范围内减少温室气体排放。

首先,鉴于全球可再生能源资源的潜力超过全球能源需求,为实现可持续发展需要加强可再生能源的生产,逐步淘汰化石燃料的使用。太阳能、风能和其

他可再生能源的间歇性是限制用可再生能源替代化石燃料的主要挑战之一。能源储存显然是解决一些可再生能源间歇性的办法。然而,储能的可扩展性和成本效益受到许多约束和限制。储能的发展和推广带来了科学和技术的挑战,以及必须解决的经济和监管问题,以推动储能行业的投资和竞争。由于节约能源和减缓气候变化之间有着明显的联系,尽量减少最终用途部门的能源消耗将有助于可持续发展和实现碳中和目标。

其次,尽管CCUS方法在我们追求碳中和的过程中发挥着关键作用,但目前CCUS技术的采用受到其高能耗和高成本的阻碍。碳捕获和碳存储需要科技创新来实现低能耗甚至净零能耗。多联产、化学循环燃烧以及结合化石燃料和可再生能源捕获二氧化碳的技术可能为CCUS开启一个新时代。

最后,鉴于监测来自空间的温室气体排放对确保世界顺利实现其减缓气候变化的目标至关重要,需要进一步加强监测来自卫星的温室气体排放的准确性和时空分辨率,以便更全面和及时地监测温室气体排放源和速率。卫星监测陆地生态系统生物量的能力和准确性也需要提高。海洋碳汇潜力遥感监测需要新的理论突破。基于陆海空联合观测进行准确的碳预算计算是碳峰值和碳中和决策的重要依据。

总之,本文阐明了构建碳中和和未来技术的现状、挑战和前景。然而,为了满足重组全球发展体系和保护自然资源的迫切需要,需要世界各国采取协作行动来减少温室气体排放,促进技术和自然系统的碳封存。此外,促进绿色经济的全球科技创新必须得到财政和战略上的支持,以加速实现碳中和的目标。

参考文献:

- [1] 曾文革,江莉.《巴黎协定》下我国碳市场机制的发展桎梏与纾困路径[J].东岳论丛,2022,43(02):105-114,192.
- [2] 罗仕华,胡维昊,刘雯,等.中国2060碳中和能源系统转型路径研究[J/OL].中国科学:技术科学,2022-10-08:1-22.
- [3] 李丽红,杨博文.我国碳捕获与储存技术(CCS)二维监管法律制度研究[J].科技管理研究,2016,36(23):232-236.
- [4] 金秋实,王晓,倪依琳,等.“双碳”背景下光伏行业发展研究与展望[J].环境保护,2022,50(Z1):44-50.
- [5] 李风雷,尹璐,赵吉,等.以能源转型推进“碳中和”的北欧经验借鉴与中国方案初探[J].可再生能源,2021,39(10):1308-1313.