

森林碳汇对于造纸行业实现碳中和的作用

文 胡延杰

中国林业科学研究院林业科技信息研究所



胡延杰

中国林业科学研究院林业科技信息研究所
研究员，森林培育学博士

2020年9月，习近平主席在第七十五届联合国大会一般性辩论上宣示了中国的碳达峰、碳中和目标，力争于2030年前实现碳达峰，努力争取2060年前实现碳中和，充分彰显了我国积极应对全球气候变化的大国担当。十九届五中全会和中央经济工作会议都进一步对做好碳达峰、碳中和工作提出明确要求，为我国应对气候变化、走绿色低碳发展的道路明确了目标、指明了方向，注入了强大动力。这些充分表明了党中央加快我国经济社会发展全面绿色转型、建设人与自然和谐共生现代化的坚定决心，体现了我国主动承担应对气候变化国际责任、推动构建人类命运共同体的责任担当。其中，森林碳汇在促进我国实现“双碳”目标进程中将发挥越来越重要的作用。

1 森林碳汇对于我国实现“双碳”目标有哪些积极作用？

“双碳”目标具体是指碳达峰和碳中和。其中，碳达峰是指二氧化碳的排放达到峰值不再增长，意味着中国要在2030年前，二氧化碳的排放总量达到峰值之后，不再增长，并逐渐下降。碳中和是指二氧化碳人为排放量（化石燃料利用和土地利用）被人为作用（木材蓄积量、土壤有机碳、工程封存等）和自然过程（海洋吸收、侵蚀-沉积过程的碳埋藏、碱性土壤的固碳等）所吸收，即净零排放。森林碳汇是指利用森林的储碳功能，通过植树造林、加强森林经营管理、减少毁林、保护和恢复森林植被等活动，吸收和固定大气中的二氧化碳，并按照相关规则与碳汇交易相结合的过程、活动或机制。

首先，森林是陆地生态系统的主体，对维持陆地生态平衡、保护生态安全、防止生态危机起着决定性的作用。森林具有显著的光合优势，相比其他陆地生态系统，能够更有效地消耗、吸收、固定和储存二氧化碳，起着汇集二氧化碳于植物体中的作用。因此森林作为陆地上最大的生态系统，其碳汇的功能在吸收大气中二氧化碳方面的作用是举足轻重的。研究表明：森林植被碳储量占全球植被碳储量的77%，单位面积森林生态系统碳储量是农地的1.9~5倍。因此，发展森林碳汇是缓解全球气候变暖、助力我国实现“双碳”目标的有效途径。

其次，森林碳汇是目前核定技术最成熟，碳汇交

易市场机制建立最完善的碳汇类型。随着《联合国气候变化框架公约》以及《京都议定书》相关谈判逐步取得进展,林业碳汇项目受到国际社会广泛关注,特别是提出的清洁发展机制(CDM),可以将造林和再造林项目增加的森林碳汇,用来抵消工业化国家的温室气体排放量,从而实现减排目标。因此,森林碳汇是促进我国实现“双碳”目标的国际公认途径。

最后,森林碳汇将森林的生态系统服务功能通过贸易形式进行了商品化,不仅是林业实现“绿水青山变金山银山”的有效市场途径,也为新形势下建立生态融资新机制、推进生态服务市场化带来了新的历史机遇。目前,森林碳汇作为国内温室气体自愿减排机制的重要部分,是提升碳汇增量的重要途径,不仅是北京、上海、广东、湖北等区域碳市场普遍接受的碳抵消项目类型,也是未来全国统一碳市场积极鼓励和重点支持的项目类型之一。北京顺义、承德丰宁千松坝、塞罕坝机械林场等碳汇造林项目产生的核证减排量均已成功实现交易。因此,森林碳汇也是我国实现“双碳”目标的现实可行途径。

2 森林碳汇量如何计算? 遵循的标准是什么?

目前国际上通用的森林碳汇的计算方法主要包括样地清查法、微气象学方法和遥感等新技术的模型模拟法三大类。

2.1 样地清查法

2.1.1 生物量法

生物量法是最早使用的、传统的森林资源清查方法。生物量法以森林生物量数据为基础,通过取得的实际森林生物量数据,来建立标准的测量参数以及植被的平均碳密度,在这些数据的基础上,通过植被面积及其碳密度的乘积方式,来近似估算森林的碳储量。

2.1.2 蓄积量法

蓄积量法是生物量法的延伸,这种方法根据对被测森林的主要树种的抽样实测,来获得主要树种的平

均容重,由森林的总蓄积量获得生物量,再由生物量与碳量的转换系数估算得到被测森林的碳容量。

2.1.3 生物清单法

生物清单法是通过建立的理论模型来估算碳容量的方法,通过各森林生态系统类型乔木层的碳贮存密度,来估算各森林类型的单位面积总生物质碳贮量:

$$P_c = V \cdot D / (R \cdot C_c)$$

式中, P_c 表示碳贮量; V 表示某一类型森林的单位面积蓄积量, D 表示树干密度, R 是树干生物量在乔木层生物量中的比重, C_c 是植物中的碳含量(一般取 0.45)。

2.2 微气象学方法

2.2.1 涡旋相关法

大气中物质的垂直交换通常是基于空气的湍流流动来实现的,在这种湍流带动空气中包括二氧化碳在内的各物质均要向上或向下通过某一参考面,由此形成的二者之差便为所要研究的生态系统固定或者放出二氧化碳的量,公式如下:

$$F \cdot c = \overline{P' \cdot w'}$$

式中, F 和 c 分别表示二氧化碳通量和浓度; w 表示垂直方向上的风速。字母的右上标“'”表示各自平均值于垂直方向上的波动也就是涡旋波动,字母上面的上划线“—”表示一段时间(通常为 15 ~ 30 min)内的平均值。能够对各月碳贮存量分别进行计算,并在数据处理上较为方便。

2.2.2 涡度协方差法

分别测定能量、水分和二氧化碳,其中,利用三维超声波风速仪测定能量(风),利用闭路或红外气体分析仪测定水分与二氧化碳的浓度。二氧化碳通量(林分的净生态系统交换量)通过频率为 10 Hz 的二氧化碳和水浓度与垂直风速的原始数据经协方差计算得到,平均时长为 0.5 h。

$$F_s = \overline{\rho' \cdot w' \cdot S'}$$

式中, ρ 为空气密度, w 为所要研究的对象物质(二氧化碳),上角标“'”表示与平均值间存在的偏差,上划线“—”表示平均值。

2.2.3 驰豫涡旋积累法

驰豫涡旋积累法是涡旋积累法的进一步发展，其基本思想是基于垂直风速的大小和方向的数据，采集两组气体样本开展测量工作。在将驰豫思想引入到涡旋积累中之后，大大提高了实用性，将原来的不定时采样转换为定时采样，因此将之称为驰豫涡旋积累法。截至目前，我国还没有在碳汇计量中应用此方法的先例。

2.2.4 箱式法

箱式法遵循以下基本思想：植被的一部分被套装于一个密闭的测定室中，在这一测试室中二氧化碳的浓度随时间发生变化，此即二氧化碳通量。其计算公式为：

$$F = V \frac{\Delta c}{\Delta t}$$

式中， V 为测定室的空间量即体积； $\Delta c/\Delta t$ 表示二氧化碳浓度的变化速率。

2.3 模型模拟法

模型模拟法是基于数学模型来对森林生态系统的生产和碳贮存量进行估算的一种方法，目前应用的模型主要有碳平衡模型、生物生理模型等。

3 森林碳汇商业模式有哪些？

现有的国际和国内森林碳汇的商业模式大多通过林业碳汇项目以在碳市场交易的形式来开展，通过利用市场机制来控制减少温室气体排放、推动绿色低碳发展。

3.1 国际性林业碳汇项目

3.1.1 CDM 林业碳汇项目

《京都议定书》第 12 条确立了清洁发展机制；《波恩政治协议》和《马喀拉什协定》同意将造林再造林作为《京都议定书》第一承诺期内唯一合格的 CDM 林业碳汇项目。由此，CDM 林业碳汇项目在中国、印度、

巴西等发展中国家广泛开展。但是，由于 CDM 林业碳汇项目要求在国际间展开合作，审查较为严格，开发周期很长；在实践中因受土地合格性、交易程序复杂等因素限制，真正开发成功的项目并不多。截至 2018 年 5 月，全球范围内仅 66 个林业碳汇项目获得批准注册，不到 CDM 项目注册总数的 1%，未来发展前景也不容乐观。

3.1.2 VCS 林业碳汇项目

国际核证碳减排标准（VCS）是一种较为完善的国际自愿碳市场补偿标准，由气候组织、国际排放交易协会和世界经济论坛发起组织实施。依据 VCS 可开发的林业碳汇项目主要有造林、森林管理、减少毁林等类型。VCS 林业碳汇项目在国际自愿碳市场上有一定交易规模，2016 年使用 VCS 开发的林业碳汇项目约占自愿市场林业碳汇项目总数的 82%，主要用于企业自愿减排，履行社会责任、提升企业形象。

3.1.3 GS 林业碳汇项目

黄金标准（GS）林业碳汇项目同样也是国际自愿碳市场常用的标准之一，由世界自然基金会及其他国际非政府组织发起实施，旨在提高碳抵消的质量。尽管没有地理限制，但依据 GS 标准开发的林业碳汇项目通常都在低收入或中等收入国家实施，主要实施类型为造林项目，规模普遍较小，占自愿市场份额也比 VCS 林业碳汇项目小得多，2016 年仅为 4%。

需要说明的是，随着 REDD + 机制的推出，未来基于 REDD + 机制的林业碳汇项目将会不断增加，并成为林业碳汇项目的主流，但目前由于针对 REDD + 项目的方法学及监测、报告与核查（MRV）机制尚不完善，主要还是通过转移支付等非市场机制对碳汇生产进行激励。

3.2 国内林业碳汇项目

3.2.1 CCER 林业碳汇项目

作为中国自愿减排市场的重要组成部分，中国核证减排量（CCER）林业碳汇项目开发受到社会各界的普遍关注，并呈快速发展态势。目前，CCER 林业碳汇

项目开发主要有 4 种类型，分别为碳汇造林项目、森林经营碳汇项目、竹子造林碳汇项目和竹林经营碳汇项目，其中碳汇造林项目无论是项目数量还是年减排量都居第一位。

3.2.2 CGCF 林业碳汇项目

中国绿色碳汇基金会 (CGCF) 于 2010 年 7 月正式注册成立，以应对气候变化、增汇减排为主要目的，为企业、团体和个人搭建了一个能够通过参与植树造林、森林经营保护等林业活动践行低碳生活、履行社会责任的重要平台。目前，基金会已先后在全国 20 多个省（市、区）成立了近 30 个不同层面的绿色碳基金专项，碳汇造林面积超过 10 万 hm^2 （150 万亩）。

3.2.3 FFCER 和 PHCER 林业碳汇项目

随着碳市场的逐步完善，我国还出现了一些在省级层面交易的林业减排量。福建碳市场于 2016 年启动，福建林业核证自愿减排量 (FFCER) 林业碳汇项目产生的减排量在本省的抵消比率可达 10%，而其他类型项目的抵消量仅为 5%；2017 年 4 月广东省正式将广东碳普惠核证自愿减排量 (PHCER) 作为碳排放权交易的补充机制纳入广东省碳市场，其林业碳汇项目主要进行森林保护和森林经营，产生的减排量原则上等同于本省的 CCER。目前，FFCER 和 PHCER 都仅限于在各自省内碳市场进行交易，本地化较为明显。

4 造纸行业在实现碳中和过程中，如何更好地发挥森林碳汇的作用？

进入新世纪以后，我国造纸工业进入快速发展时期，造纸产量大幅提升，目前已成为全球最大的纸及纸板生产国和消费国，产量占比超过全球纸及纸板总产量的四分之一。造纸行业以天然植物纤维为原料，其产品不仅有循环再生优势，更重要的是有固碳作用，是我国国民经济中具有循环经济特征的重要基础原材

料产业和新的经济增长点。在造纸行业实现碳中和过程中，为了更好地发挥森林碳汇的作用，特提出以下建议。

首先，从固碳端着手，推进林浆纸一体化，将纸浆林作为造纸企业的“第一车间”，利用森林碳汇作为造纸企业减排的重要途径之一。众所周知，植物生长通过光合作用吸收二氧化碳，达到固定二氧化碳作用，从而可发挥森林碳汇功能。因此，强化顶层设计，将实现碳中和纳入造纸行业发展整体布局，统筹推进林浆纸一体化项目，充分发挥森林碳汇功能，是提升造纸行业增汇（碳贮存和碳吸收能力）的基础性工作。例如，早在 1996 年，APP（中国）就开始通过自营造林践行“林浆纸一体化”产业模式。通过碳管理，截至 2020 年，APP（中国）的林地累计吸收二氧化碳约 4239.51 万 t，2020 年碳汇净增量为 462.39 万 t 二氧化碳，为集团早日实现碳中和奠定了良好的基础。

其次，从碳减排端入手，在推动应用绿色、循环、低碳技术减少造纸生产过程中碳排放的同时，鼓励造纸行业企业通过购买森林碳汇的方式来抵消自身的碳排放从而达到减排的目标。一方面，通过扩大造纸行业对森林碳汇的需求，助力国内森林碳汇交易市场的建立和良性发展；另一方面，鉴于森林具有多种生态功能，森林碳汇需求的增加有利于促进森林面积和森林质量的双提升，从而推动生态环境的保护。通过大力宣传森林碳汇的多重效益，将购买森林碳汇作为造纸行业需要履行的社会责任之一。

最后，从政策层面入手，鼓励和重点扶持一批利用森林碳汇实现“碳中和”的示范造纸企业，探索充分发挥森林碳汇在造纸行业应用的具体实施路径和措施，以及所需的财税、价格、金融、土地丰年的扶持政策，为造纸行业更好地利用森林碳汇来实现碳中和保驾护航。■