

中文版序言

森林生态系统在全球碳循环中扮演着重要的角色。面对日益严峻的气候变化挑战，增强森林碳汇能力已成为各国实现碳中和目标、推进基于自然的气候解决方案的核心路径。在我国稳步迈向“双碳”目标的进程中，如何科学推进森林碳汇的价值实现与市场机制创新，成为具有战略意义的现实课题。

长期以来，我和我的团队主要聚焦于气候变化对农业经济的影响、农业适应气候变化与减排以及低碳膳食转型等领域的研究。在加入北京大学碳中和研究院后，我深切体会到其在生态系统碳汇等自然科学领域拥有的深厚实力。这给了我极大的启发，让我开始思考如何将碳经济学与复杂的森林自然系统深度交叉，如何将我们的研究视野拓展至碳汇经济学、自愿减排碳市场等更广阔的维度。正是在系统翻阅国内外前沿文献与学习资料的过程中，我拜读了尹润生教授撰写的英文著作 *Global Forest Carbon: Policy, Economics and Finance*。这本书系统且深刻的见解让我受益匪浅，同时也让我萌生了一个强烈的念头：将其翻译成中文。我希望借此能让国内相关领域的更多年轻学子和研究人员看到这本佳作，扩大其学术影响力，助力相关领域取得研究突破，推动我国“双碳”事业稳步前行。

2025年初，这本书的翻译团队正式组建，包括北京大学现代农学院、北京大学碳中和研究院的解伟老师及其博士生甘涛等，西安交通大学经济与金融学院的林颖老师及其研究生陈美琦、舒妍然、王莹、王稚贺、高卓瑞等，浙江农林大学经济管理学院的李兰英和谢芳婷老师，南京林业大学经济管理学院宁卓老师，中国人民大学农业与农村发展学院的王雨濛老师，以及北京林业大学经济管理学院乔丹老师。此外，科学出版社魏如萍和邢佳两位编辑在编审过程中也付出了很多心血。

在此，我要对参与本书翻译与出版的每一位同仁，尤其是作者尹润生教授，林颖、李兰英两位主要翻译者，以及魏如萍、邢佳两位编辑，致以最衷心的感谢和最诚挚的敬意。正是大家热心、负责、专业的付出与卓有成效的配合，才使得《全球森林碳：政策、经济与金融》能够在如此短的时间内出版发行。同时，我也对一直以来鼓励我们尽早翻译出版此书的各单位和个人表示深深的感激。希望

本书的出版，能为我国推进森林碳汇、林产品储碳提供有益借鉴，并在相关领域的科研深化与人才培养中激荡出更多的思想火花。

北京大学现代农学院
北京大学碳中和研究院
解 伟

2026年5月18日于北京

鸣 谢

能有幸邀请两位杰出人士为本书撰写序言，实乃我的荣耀——一位是约翰·A. 帕罗塔（John A. Parrotta）博士，另一位是威廉·F.海德（William F. Hyde）博士。帕罗塔博士是美国农业部林务局国际林业科学问题项目主任，同时是国际林业研究组织联盟（简称“国际林联”）的现任主席。海德博士则是我多年的挚友，1987年夏天，他作为杜克大学森林资源学院教授在北京林业大学讲学时，我们便结下了深厚的友谊。对于他们给出的专业评价和富有建设性的意见我深表感激。

我也对本书出版的三位匿名审稿人所给予的高度评价与建设性意见深表谢意。他们不仅肯定了我的写作计划，而且激发了我对其中某些课题更缜密、充分的思考。另外，我很幸运，收到多位学者对此书热诚、慷慨的推荐语，他们是北京大学碳中和研究院朴世龙教授、多伦多大学 Shashi Kant 教授，台湾中兴大学柳婉郁教授和阿根廷圣马丁国立大学 Monica Gabay 教授。

许多研究生、在职人员和访问学者选修或旁听了我所讲授的“森林碳政策、经济与金融”课程之后，都给予了我有益的反馈和热情的鼓励。我也有幸与诸多学者（其中不少是来自美国和中国聪慧的年轻人）就书中有关课题开展合作研究并共同撰写论文。我从他们那里获益匪浅。密歇根州立大学研究与创新办公室、农业与生物学试验站、林学系在此书撰写和出版中提供了资助，对此我深怀感激。此外，我也由衷感谢许多给予我帮助并促成此书出版的同事。除了密歇根州立大学的戴维·斯科尔（David Skole）和理查德·科比（Richard Kobe）之外，还包括如下来自北美和世界其他地方（不包括中国）的人士：联合国粮食及农业组织林业司的马蕾，新西兰坎特伯雷大学的布鲁斯·曼利（Bruce Manley）和戴维·伊夫申（David Evasion），新西兰林业研究所的理查德·姚（Richard Yao），德国德累斯顿工业大学的彼得·德根（Peter Degeen）和德国莱布尼茨转型经济农业发展研究所的丹尼尔·米勒（Daniel Müller）与孙战利，加拿大多伦多大学的王森，美国俄亥俄州立大学的布伦特·松根（Brent Sohngen），美国纽约州立大学环境科学与林业学院的戴维·纽曼（David Newman），美国未来资源研究所的戴维·威尔（David Wear），意大利莫利塞大学的尼古拉·卡拉瓦乔（Nicola Caravaggio）。来自中国的同行包括：北京大学的解伟、徐晋涛、黄季焜；浙江农林大学的周国模、沈月琴；清华大学的王亚华；北京林业大学的温亚利；中国人民大学的柯水发；

南京林业大学的杨红强；西北农林大学的刘天军、张寒；福建农林大学的戴永务；亚太森林恢复与可持续管理网络的鲁德；国家林草局林业经济研究中心的刘璨。

在本书的撰写出版过程中，Routledge 出版社的汉娜·弗格森（Hannah Ferguson）、凯蒂·斯托克斯（Katie Stokes）、乔纳森·梅里特（Jonathan Merrett）、凯蒂·海明斯（Katie Hemmings）及其他同事提供了高水准的协调与编辑服务。他们的恭谦、耐心、合作使我在写作时更有效、更愉悦。在这里，我要说一声：“谢谢你们！”

最后，我要感谢我的夫人杜秀和两个女儿伊娃（Eva）与安娜（Anna）的陪伴，是她们的挚爱、鼓励、支持使我坚持前行。

序 一

本书作者尹润生教授在他的职业生涯中为全球林业经济与政策分析做出了卓越的贡献。其出版是他学术贡献的继续，对加深我们理解森林与全球变暖的关系至为重要。

对我们大多数同行来说，若一生能够在某一个领域做出一项显著的贡献就已属幸运，而尹教授却已做出了四项开创性的贡献。20 世纪 80 年代中国林业市场化改革中，他是关键的参与者；其博士论文中的相关研究成果，不仅为后续同类探究奠定了基础，更为全球关于集体行动和林政管理透明度的讨论提供了基础性经济学文献，当然尚在演进的中国政策也是该讨论中重要的一部分；后来，他在对美国南方商品林业的研究中确立了林业生产的利润函数，在我看来这是 20 世纪对林业经济学最重要的理论贡献；从 1995 年以来，他用自己职业生涯的大部分时间去讲解、阐释林业中不同形式的私人和集体行动——其中一部分研究是对他的博士论文研究的自然延伸，更多则是全新的探索。与此同时，尹教授总共指导、培养了 70 多名研究生和访问学者。近些年来，他的研究注意力放在了森林对缓解全球气候变暖的作用——这一现代林业政策的关键性课题上。如此广博的研究维度与持续不断的学术贡献，在单个学者的职业生涯中实属罕见，在我看来确实值得敬佩。

谈及气候变化，林业部门是一个基本的，甚至是关键的部门。诚如尹教授所言，若要实现把全球气候变暖控制在《巴黎协定》设定的到 21 世纪中叶不超过 2℃ 这一目标，仅林业部门的相关措施就能提供三分之二具备成本有效的自然解决方案。故此，森林在任何有关气候变化的对话中都是重要的一部分；同样，气候变化在任何当代林业政策的讨论中也是不可或缺的。

诸多其他研究，包括书中引用的那些利用宏观经济模型进行的分析，已就林业在缓解气候变化中的潜在作用展开考察。就我所知，尹教授的这本新作是首部探讨《巴黎协定》中所达成的关于森林应对气候变化的政策规定及其对 194 个缔约方（国家和国际组织）具体影响的专著，书中实用的政策分析信息是推进森林碳汇与减缓气候变化的必要基础。

正像尹教授勾勒的那样，《巴黎协定》虽易于理解，但要落到实处则需所有缔约方开展全新的森林测度和报告。他在书中用清晰的逻辑框架和大量的国家例证描述了这些方面的内容以及它们在应用中的复杂性。书中遴选的美国和中国的例子具有特殊意义，因为美国是全球最大的碳消费国而中国是一个很大的碳生产国

——尤其是中间产品的生产。这给中国和那些初级产品生产国开展新的、不同的测度带来麻烦。

尹教授在书中解释，在满足《巴黎协定》所要求的碳测度与政策调整中会出现片面、实施难度大甚至彼此竞争的情形——这些测度与调整所造成的差异反映在同一个国家的不同地区之间，国际贸易的不同国家之间，乃至全球经济发展中的南北方之间。因此，该书为进一步讨论如何实施全球森林储碳政策提供了应该聚焦的关键内容，并搭建了分析框架，同时，这也给那些想要弄懂《巴黎协定》相关要求与其应用之间关系的人们提供了基本的背景资讯——包括国家政策制定者和打算拓展对当今我们所面对的这一关键性全球问题的分析与评估的其他仁人志士。

威廉·F.海德

美国弗吉尼亚理工大学自然资源学院森林资源与环境保护系（荣休教授）

序 二

在支持全球森林保护与可持续管理的诸多有力论据中，森林在全球碳循环中的关键作用以及吸收和储存大气中二氧化碳的重要功能无疑是富有说服力的理由。如果不强化对高碳强度产业的监管，并大幅削减能源、交通等部门的温室气体排放，《巴黎协定》中到 21 世纪中叶将全球平均气温升幅较工业化前水平控制在 2℃ 以内的目标将是无法实现的；然而，在所有其他部门中林业却可为这一目标的实现提供部分解决方案。森林每年吸收高达 29% 的人为排放的二氧化碳。但是，持续的毁林和森林退化会导致严重的二氧化碳排放问题，其排放量相当于每年人类活动排放总量的 10%。

过去 30 年间，许多国家、地区乃至全球为提升森林碳汇采取了种种措施，其中包括《京都议定书》的“清洁发展机制”和近年来在《联合国气候变化框架公约》（the United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）范围内开展的 REDD 与 REDD^①，以及其他恢复森林景观的活动。经验表明，这些举措不仅能带来积极的固碳效果，而且能为那些受到森林和土地利用变化直接影响的人们提供显著而持久的利益。然而，经验同样警示我们，如果不能成功遏制在不同空间规模上导致毁林和森林退化直接和间接的驱动因素，人类采取各种举措所积累的碳储量将难以持久，功亏一篑。而在导致毁林和森林退化的诸多驱动因素中包括了土地所有权和使用权的不清晰、不稳定，缺乏跨部门的政策协调和形形色色林业治理方面的问题；这些问题会影响到地方、区域、国家乃至全球的土地利用与投资决策。

在设计和实施有效行动以遏制并扭转森林丧失与退化趋势方面面临挑战。此外，在测度各国及团体层面兑现为应对气候变化在《巴黎协定》框架之下所做承诺采取的行动和有关林业计划（包括 REDD+ 所涵盖的基于成果的支付方案）的过程中也存在诸多挑战。尽管遥感技术的进步为估计森林面积变化提供了极大便利，但森林退化的监测依然较为困难。就 REDD+ 行动而言，对碳储量变化准确的测量、报告与核实仍受限于数据之间的差异，缺乏完整的国别数据，评估报告对不确定性的估计不充分，监测森林退化的卫星影像清晰度不够，对枯落物与土壤等

① REDD+ 意即减少毁林和森林退化所造成的碳排放（reducing emissions from deforestation and forest degradation, REDD），保护和提升森林碳储量并可持续经营森林（+）。

碳库考虑不足，气候变化对森林及其碳汇功能影响的不确定性尚不明确。

本书聚焦国际森林碳核算和政策评估中面临的若干关键问题，包括不同森林生态系统碳汇潜力与不同林产品储碳潜力的差异性，木材与林碳的联合生产机制，基于成果付费的规制，等等。本书也汇集了来自全球范围的实践经验，尤其是中国和美国的经验、做法。

本书第一章扼要介绍了《巴黎协定》及对林业部门的影响。第二章考察了森林气候治理的管辖权模式及其他创新路径。第三章综述并整合了森林碳核算和潜力评估不同的理论视野与分析手段，并汇集来自北美和欧洲等地的案例。第四章基于美国南方松树人工林讨论了在微观水平上开展碳核算的不同做法。第五章对中国林业在其未来经济发展中去碳的潜在作用进行了评估。第六章通过解析中国木制品贸易流，揭示生产端与消费端碳核算方法学差异导致的碳泄漏问题。第七章聚焦碳金融体系，重点剖析林业气候资助机制，而第八章考察应对气候变化过程中风险与不确定性的辨识和分析以及气候投资折现等问题。第九章结合非洲、东南亚和拉丁美洲的案例论述森林储碳项目和计划影响评价中的概念与方法。作者在最后一章（第十章）对前九章所讨论的问题和可供吸取的经验教训作了简要总结，并指出该领域现存的知识欠缺和将来的研究方向。

尹教授凭借其全面深厚的学术造诣，为我们理解森林碳核算、森林碳经济与金融分析做出了卓越贡献，也为政策制定者提供了一定的启示。此书的出版必将推动我们共同努力，充分发挥森林和林业部门在缓解与应对气候变化中的作用。

约翰·A.帕罗塔

美国林务局国际林业科技问题项目处（主任）

导 言

本书聚焦 2015 年通过的关于应对气候变化的《巴黎协定》中的林业相关部分，这或许是当代最为重要的林业政策，也无疑是获得全球共识的国际性林业政策。《巴黎协定》将《联合国气候变化框架公约》的所有缔约方聚集在一起，为了一个共同的目标努力：“将全球平均气温的升幅控制在工业化前水平以上低于 2°C 之内，并努力将气温升幅限制在工业化前水平以上 1.5°C 之内”（第 2.1 款）。

森林在应对气候变化中发挥着关键性作用。就全球而言，到 2050 年前将气温升幅控制在工业化前水平以上 1.5°C，包括农业、林业、湿地和生物能源在内的土地相关活动，每年可持续提供约 150 亿吨二氧化碳当量的减排量，约占实现 1.5°C 温控目标所需减排总量的 30%（Roe et al., 2019）。仅林业部门就可为到 21 世纪中叶气温升幅低于 2°C 提供三分之二成本低廉的基于自然的解决方案（Griscom et al., 2017）。运用林业政策来实现这些目标正是本书的主题。

《巴黎协定》建立在国家自主贡献（Nationally Determined Contributions, NDCs）的基础之上。它让 194 个缔约方（193 个国家加上欧盟）有机会各自为实现全球减缓和适应气候变化的目标而设计自己所选定的战略，并提出相应的指标来度量朝着实现这些目标所取得的进步。因此，众多国家层面的倡议及后续提升气候行动力度的尝试，最终形成了形式多样的气候与森林战略体系。

本书旨在探究解决在实现这些战略选择过程中所遇到的诸多问题。开篇对《巴黎协定》的有关条款进行了阐释（第一、二章），接着通过实证分析评估不同加总层面的气候减缓行动（第三至五章）。第六至八章考察三个超越国界或主权国家目标的问题——国际贸易，金融与经费，风险、不确定性和社会折现，各章都有来自世界许多地方的实例。第九章综述并整合对林业碳汇政策的影响评估的研究，重点分析时下流行的 REDD+项目与计划。第十章先总结前面各章的讨论，接着就尚待研究解决的问题和在地方、国家乃至全球层面政策的改进提出相关建议。

以下五个方面的问题对讨论林业在应对气候变化中的角色至关重要。

- （1）气候治理中基于行政辖区的途径。
- （2）各种森林生态系统反映在地上和地下生物量与土壤中的固碳差异。
- （3）森林用于木材和林碳联合生产所产生的影响。
- （4）各种林产品不同储碳量与持续时间的度量。
- （5）碳核算和信用对林业应对气候变化方案的要求，包括额外性、持久性和

避免碳泄漏。

第一个问题，即以行政辖区为导向的气候治理途径，专门用一章来讨论，同时作为核心线索贯穿全书。其他四个问题则在随后的章节中反复出现、层层深入。建议在首次接触每个议题时便精准把握其内涵，因为它们对后续的讨论很重要。

这五个方面的问题每个都很复杂，而它们交织在一起使碳核算与储碳潜力评估变得更为复杂，这对那些拥有多样森林生态系统并产出多种林产品和生态服务的大国来说尤为如此。而当我们对森林应对气候变化的战略进行国际比较，以及为评估全球碳核算的结果而进行国家层面影响数据汇总时，这些问题又会带来新的问题。讨论如何采取各种手段和措施来成功解决上述问题是最后一章的主要任务，也是将来政策取得成功所面临的主要任务。

总之，本书试图通过梳理相应的政策背景和研究进展，构建必要的模型，选取来自世界不同地方的例证，并总结归纳政策和测度中仍存在的困难挑战，探究解决林业部门在应对气候变化过程中不可避免遇到的一些重要问题。其宗旨是构建一个关于温室气体减排及碳汇增强（通过固碳与储碳）相关多重过程、原则及实践的完整知识体系。对那些致力于把握这一复杂议题全貌的政策制定者、分析者、实践者来说，完整的知识体系至关重要。

需要说明的是，本书中涉及的数据、模型计算和情景分析，除特别注明外，均为学术研究用途，并非中国官方数据或官方结论。相关结论基于特定模型设定和情景假设得出，仅供学术讨论和政策分析参考，并不代表普遍适用或已经确定的结果。

全球气候条约的背景

继 1992 年《联合国气候变化框架公约》之后，1997 年通过的《京都议定书》成为国际社会应对全球气候变化的第一个正式制度化的条约。参与该议定书的缔约方每年都在联合国的支持下举办专门会议讨论气候变化。《京都议定书》要求工业化国家减少温室气体的排放，但未对任何发展中国家设定具有法律约束力的义务。

自 2005 年该议定书生效之后，全球温室气体排放的增长主要来自发展中国家（Stavins, 2015），《京都议定书》这种把发达国家和发展中国家一分为二的做法使得在应对气候变化领域的合作难以取得实质性进展。议定书中规定承担减排责任的那些国家（如欧盟和新西兰）的碳排放量只占全球温室气体排放总量的比重不超过 14%（对全球排放增长的贡献率为 0）。对比之下，在巴黎气候谈判结束后 186 个《联合国气候变化框架公约》成员国提交了计划承担的国家自主贡献，这些国家的碳排放占当时全球温室气体排放量的 96%。

另外，《京都议定书》的清洁发展机制在其缓解排放的举措中只包括造林和再造林项目。之后，2007 年的缔约方大会采纳了“巴厘岛行动计划”，即减少毁林

和森林退化所造成的碳排放（REDD）。2010 年，联合国气候变化坎昆会议又扩大了林业应对气候变化举措的范畴，把保护和实行森林可持续经营以提升森林碳储量（+）也包括在内，使 REDD 变成 REDD+。按起初的构想，REDD+ 是一个由国家主导的、自愿参与的减排机制，通过高收入国家（即《联合国气候变化框架公约》附件 1 国家）向中低收入国家（即《联合国气候变化框架公约》附件 1 以外的国家）提供资助来实现减排与增汇。值得注意的是，国家自主贡献本身也在不断演进之中。例如，仅 76% 的国家在第一期自主贡献中包含土地利用、土地利用变化和林业（Land Use, Land-Use Change, and Forestry, LULUCF）方面的内容，而到 2020 年有 90% 的国家在提交的第二期自主贡献中包含 LULUCF 方面的内容。

因此，在《巴黎协定》之前有关的实践经验仅限于《京都议定书》和 REDD+ 项目层面，其中多数经验已难以适应当前需求。此外，国家项目的多样性加之“碳博弈”规则的不断变革，在气候行动的治理、碳抵减、核算与信贷、评价 REDD+ 影响等多方面给我们造成困惑与争议。另外，迄今为止尚无足够力量用于考察上面所指出的问题以及在第六、七章中所讨论的国际贸易带来的碳核算调整、碳项目资助和碳融资渠道等问题。全面理解这些问题对理性认识林业部门在应对气候变化中的贡献乃至《巴黎协定》所要求开展的更为复杂的全球评估是至关重要的。

所以，现有经验的多样性和全球性总量评估的艰巨性使得本书的内容显得尤为重要。对现有减少温室气体排放与增加其清除的多重战略、目标、做法展开有条理的评估是本书的目的，这对理解林业在应对气候变化中的作用不可或缺。

本书的组织结构

全书共分十章，第一章就《巴黎协定》中的相关规定及其对林业部门的影响加以述评。其中核心的规定即各缔约方自主确定自己的减缓和适应战略，并选择相应的指标来量化其国家层面目标取得的进展及与《巴黎协定》全球目标的契合程度。任何缔约方可能有多重目的，但其核心构成应包含温室气体排放量与清除量的计量指标。而且，《巴黎协定》要求各缔约方每两年针对其进展情况进行一次评估；待对繁杂的差异进行调整之后，各缔约方的评估报告便成为全球综合评估、盘点的输入信息。

我们最关心的林业部门行动在《巴黎协定》的 5.2 款中给出。这些行动涵盖毁林、森林退化、保护和经营诸多方面显而易见的问题——因而有必要深入思考该条款与 REDD+ 的区别。相应地，一个更系统、一致的森林碳核算——包括森林生物量（地上与地下）和土壤与林产品固碳——就显得尤为重要。而且，《巴黎协定》的 4.13 款要求对人类活动产生的减排量与清除量进行核算，在后面的章节中我们会看到这一要求给国家碳核算带来新的挑战。第一章最后就气候治理的辖区

层面路径与其他治理模式的差异进行评述，为后续讨论奠定基础。

第二章对不同的气候治理途径展开详细讨论。在《京都议定书》和 REDD+ 的实施过程中，碳核算清一色基于单个项目。独立的林业碳汇项目也许仅由国家的某个较小地区或某个政府部门管理，对它们的影响也少有加总考量。《巴黎协定》生效之后，所有项目——无论隶属于哪个区域治理机构或国家部门——都可能成为国家目标的组成部分。这一转变无疑在问责机制、能力建设、承诺的国家自主贡献（NDCs）目标达成可靠性等诸多方面具有显著优势与积极意义，但这也为在一个国家内部实行跨行政辖区的碳核算带来许多问题，包括额外性认定问题——因为一个地区或部门的减排行动会抵销掉另一个地区或部门的行动。这些问题进一步加剧了全国范围内跨地方辖区的公平投资与利益共享问题；在《巴黎协定》通过之前，各国不同区域或职能部门鲜少面对这样的挑战。

对林业部门应对气候变化的行动而言，森林资源的监测向来就是国家林业部门的责任；这一部门长期聚焦清查森林蓄积和林地面积。如今，为响应国家层面的核算要求，其清查范围必须拓展至地上与地下碳储量的计量，这一新的责任使林业部门面对比以往更为广泛的对象群体。第一、二章都特别指出了这些森林测量的差异并讨论了测定森林碳库对林业部门的新要求。总之，这两章为《巴黎协定》框架下所有林业政策的讨论奠定了基础。

第三章概览林业部门碳核算和碳评估的独特性，并讨论核算与评估所采用的两种方法以及各自对数据的要求。第一种方法直接运用林业部门所采集的常规森林清查数据并沿两个维度进行拓展——一是加上以往测量地上林木蓄积忽略了的碳要素部分，二是通过一定方式把林产品碳库也加进来。与第一种完全不同，第二种方法建立在木材（林产品）供需市场模型的基础之上，是间接利用林木蓄积估计森林和林产品储碳的方法。对这种方法而言，前一种方法所采用的林木蓄积成为木材（林产品）供应方程中的一个转移变量。同样地，森林生物量要从清查获得的林木蓄积推算求得。土壤储碳尚未包括在这一方法的计算中。这种间接法迄今主要用在一些基于全球、洲际模型的学术性探讨当中。该章用四个实例来展示这两种方法的应用，一个介绍应用间接法对自 1900 年以来全球林业发展所做的估计，其他三个则直接运用资源清查数据对森林储碳潜力在国家或洲际层面开展评估：加拿大、欧洲、俄罗斯。通过对欧洲与俄罗斯这两个案例的对比分析，还提出了成熟林储碳上限或饱和的问题。

第四、五章系统梳理森林储碳模拟实证分析，先是探讨与个体林地所有者相关的地方及微观尺度建模（第四章），随后转向国家层面建模分析（第五章）。每个不同视角都出现在林业碳汇政策的讨论与森林应对气候变化作用的文献中。但没有哪个能解决森林碳核算碰到的所有问题。

在简要介绍了应对气候危机的基于自然的解决方案之后，第四章对现行的主

流分析方法（本质上是用一个林分水平的模型来处理木材和林碳两种产出）的局限性进行了分析。此模型的一些不足可通过构造一个利润函数加以改进，该函数涵盖不同林龄、处在不同立地位置的多个林分，并且加入了森林碳汇而增加的成本。以美国南方松人工林为例所做的实证分析完整演示了该替代模型的运行机制、模拟结果及其对各类林分条件与市场参数的敏感性反馈。

第五章以中国为例阐释在国家层面进行森林储碳潜力的模拟评估。作为一个大国、一个全球主要碳排放国和《巴黎协定》缔约方，针对中国的研究自然重要。此外，中国持续增长的森林蓄积和面积以及由此带来的不断增加的碳储量，也引发了各界的兴趣。评估整合了三个数据要求极高的国家级模型，即碳排放、森林碳吸收、林产品储碳模型。通过对各模型设定的多元情景进行时序预测与汇总分析，给出林业部门实现国家碳排放抵减目标的潜力范围。林业部门的潜在影响让人印象深刻，但要把这一潜在影响变为现实则需要对现行林业政策进行重大调整。这些林业政策的调整与其他一些国家林业政策的变革大同小异。该章结论部分讨论这些林业政策的调整。

第六章到第八章探讨三个超越国界的议题，这些议题以独特方式影响各国的碳核算与评估工作。第一个议题即国际贸易，讨论涉及碳泄漏和边境关税调整所引发的一系列问题。常规的做法是从生产角度核算碳排放，但从生产角度与从消费角度进行核算所确定的碳排放是不同的。对那些林产品进口多于出口的发达国家来说，碳泄漏是个普遍现象。而对林产品进口少于出口的发展中国家而言，情况正好相反。随着全球贸易的增长，从不同角度核算的碳排放差距也在扩大，而且将继续扩大。近年的两项研究——一项针对全球土地利用变化，一项针对中国造纸业——与笔者自己对中国林产品贸易造成的碳排放评估，都表明碳泄漏问题具有普遍性和严重性。第六章进一步阐释，边境税的实施效果取决于其具体安排，它既有可能对那些发展中的资源出口型国家造成更大的负面影响，当然也有可能纠正碳泄漏问题。然而，公平、准确的边境税需要有一个国际税务机构，但即使对欧盟来说迄今它也并不存在。

为遏制气候变化引发的灾难性影响，全球每年的投资规模预计约为 9.2 万亿美元，相较现行支出水平仍存在至少 3.5 万亿美元的缺口。第七章评述和总结了林业应对气候变化方案资助的文献与实践。这一章先讨论碳定价的原理，继而谈及近年来民间和公共机构在资助林业部门应对气候变化方案中发挥的作用。毫不奇怪，不同的举措通过不同的途径筹集资金，且各自的相对成本也不同。该章最后对时下人们熟知的 REDD+ 和其他基于市场的林碳项目进行了评论。这些项目普遍存在交易成本过高、额外性和碳泄漏以及管辖权问题。该章同时提出核心疑问，跨国界的整合与加总能够成为应对气候变化的解决方案吗？

第八章深入探讨国家碳减排计划在风险承担、不确定性应对及社会折现选择

方面的核心问题。由于这类项目具有时间跨度长，且可能产生重大的非边际效应，这就使上面的议题对碳核算与评估工作至关重要。气候变化的全球性与公共产品属性提出了一个社会折现的问题。该章首先讨论《斯特恩报告》（Stern Review）中使用的拉姆齐社会折现公式以及其中的三项因素——时间偏好、效用函数的边际弹性和人均消费的增长率；随后，引出一个不断下降的折现率代际影响问题。最后一节简述诺德豪斯（Nordhaus）对 Stern 折现做法的批评并聚焦从（不同性质的投资和不同的投资成熟期）折现率的期限结构（term structure）来看待长期融资。

第九章探究林业碳汇项目和计划影响评价的概念与方法，并以非洲、拉丁美洲和东南亚地区的实践案例为佐证。该章首先梳理适用的影响评估概念体系与方法论，继而深入探讨抽样策略与数据架构，包括如何确定一个适当的基准水平进而测定项目（或计划）在其有效期的影响这一关键问题。这样的文献述评对于落实《巴黎协定》要求、在国家碳战略框架内评估具体项目时面临的方法学困境（特别是在高度细分层面界定“常规情景”或反事实参照系）具有重要启示。

最后，第十章回顾了前述各章的政策与研究启示，明确了后续的研究方向，并提出了尚未解决的核心问题。结束前提出若干结论，并发出呼吁——在推进本书所勾勒的研究议程的路上仍有许多事情要做，以实现社会对全球林业部门在减缓和适应气候变化中的高度期待。

总之，气候变化引发的核心问题本质上是一个公共产品或外部性问题，即温室气体排放带来的外部不经济或负的公共产品。气候变化是一个尤为棘手的外部性问题，因为它是一个全球性问题——其影响在全球具有不可分割性，遍及世界各个角落，且难以通过市场机制或单一国家政府实现有效管控。所以，气候治理是一个核心的问题，因为有效的应对需要各国协调行动。只有设计、执行、贯彻多边合作，各国才能确保其气候政策的有效性。

本书旨在将气候变化这一全球性外部性问题中有关林业部门的技术与经济问题置于适当的情景之下，以构建实用的分析视角、框架和方法使它们在将来能够成功地解决。本书力图识别并填补一些文献中的明显空白并为深入理解全球森林碳政策、经济和金融问题贡献一臂之力。

参 考 文 献

- Griscom, B.W., Adams, J., Ellis, P.W., et al. 2017. Natural climate solutions. *PNAS* 114 (44): 11645–11650.
- Roe, S., Streck, C., Obersteiner, M., et al. 2019. Contribution of the land sector to a 1.5 °C world. *Nature Climate Change* 9: 817–828.
- Stavins, R. 2015. An Initial Assessment of the Paris Agreement. *Harvard Project on Climate Agreements*.

目 录

第一章 《巴黎协定》下林业碳政策和经济研究要览	1
第一节 引言	1
第二节 理解《巴黎协定》	2
第三节 结语	10
参考文献	11
第二章 理解与执行林业气候行动的行政辖区途径	16
第一节 引言	16
第二节 文献综述	18
第三节 不同治理途径的区别	19
第四节 基于行政辖区途径的优势	21
第五节 政策与实践含义	24
参考文献	26
第三章 森林碳核算和碳评估：视角与方法	30
第一节 引言	30
第二节 不同方法概述	32
第三节 不同方法的相对优势	34
第四节 案例研究	38
第五节 讨论与总结	42
参考文献	43
第四章 不同理论框架下局地森林碳核算的不同结果	47
第一节 引言	47
第二节 文献综述	48
第三节 理论考量	50
第四节 示例	51
第五节 实证结果	55
第六节 讨论与总结	57
参考文献	58
第五章 林业部门在国家脱碳中的潜在作用——以中国为例	61
第一节 引言	61

第二节 原则和方法	62
第三节 结果	64
第四节 讨论	70
第五节 结论	72
参考文献	73
附录 量化碳排放和清除	75
第六章 林产品贸易的碳泄漏——不同核算实践对中国的影响与含义	78
第一节 引言	78
第二节 贸易中碳泄漏的案例研究	81
第三节 中国林产品贸易的碳泄漏	85
第四节 讨论与结语	88
参考文献	89
第七章 碳金融和对林业部门气候解决方案的资助	92
第一节 引言	92
第二节 碳定价的原则和机制	93
第三节 碳定价实践	94
第四节 林业部门解决方案	99
第五节 总结与展望	102
参考文献	104
第八章 应对气候变化中的风险、不确定性和社会折现	108
第一节 引言	108
第二节 识别与应对关键风险	110
第三节 社会折现与碳成本	112
第四节 折现率期限结构下的融资	115
第五节 实物碳的时间价值	116
第六节 结语	118
参考文献	120
第九章 对林业碳汇项目和计划影响评价的评价	124
第一节 引言	124
第二节 基本方法	125
第三节 抽样与数据考量	128
第四节 实证研究	129
第五节 讨论	133
第六节 结语	135
参考文献	137

第十章 结论与展望	140
第一节 概要	140
第二节 《巴黎协定》阐释	141
第三节 林业部门行动的实证分析	142
第四节 其他共性议题	147
第五节 结语	151
参考文献	153

第一章 《巴黎协定》下林业碳政策和经济研究要览

第一节 引言

作为基于自然的气候变化解决方案的重要部分，林业部门行动具有成本和时间有效性（Roe et al., 2019; Griscom et al., 2017）。有鉴于此，对林业经济研究者和政策制定者来说，建立对《巴黎协定》框架下减缓和适应气候变化相关流程、原则和规定的清晰且一致的理解至关重要。厘清这些要点，可以帮助相关人员更有效地应对有关碳核算、气候治理、政策评估、影响评价等问题的挑战。

为达到上述目的，本章将重点阐释《巴黎协定》的核心内容并深入探讨其对林业部门行动的影响。森林生态系统（forest ecosystems, FESs）的独有特征，使得妥善处理林业部门行动变得极具挑战性。本章也结合了相关案例阐明观点。具体来说，重点关注以下几个相互关联的问题：国家自主贡献（NDCs）的构成和信息需求、进度跟踪和全球盘点的实施流程、基于行政辖区的气候治理途径、人为温室气体（greenhouse gas, GHG）清除量的确定、碳核算原则和规定、各部分所需的林业部门数据及其数据缺口。最后，结论部分将探讨如何充分涵盖森林生态系统的各种碳库及如何通过加强森林保护和加速森林生长以利用这些碳库来发挥它们在减缓气候变化中的作用。

上述部分议题在过去已引发广泛讨论甚至争议。比如，Sedjo 和 Sohngen（2012）、Gren 和 Zeleke（2016）、Thamo 和 Pannell（2016）分别研究了森林碳核算的挑战，涉及额外性、持久性和碳泄漏规避；Fischer 等（2016）综述了 REDD+ 项目的相关文献，而 Chagas 等（2020）和 Galik 等（2016）着重阐释了 REDD+ 的治理问题；Boyd 等（2018）从行政辖区视角分析了基于土地的减缓和适应行动的治理问题；Juutinen 等（2018）和 van der Gaast 等（2018）评估了森林碳汇及其补偿的可行性与潜力。然而，一些关键流程、原则或规定缺乏清晰的解释或阐述，导致争议和理解混乱。

需要说明的是，本章内容基于我与合作者发表的一篇同名论文（Wang et al., 2021）。该论文参阅了主要国际组织的关键文件，包括《〈巴黎协定〉强化透明度框架参考手册》（UNFCCC Secretariat, 2020）、《低碳未来的林业：将森林和木材产品整合到气候变化战略中》（FAO, 2016）和《2006 年国家温室气体清单指南》（IPCC, 2006），笔者在撰写本章时对论文进行了诸多修改与调整。

第二节 理解《巴黎协定》

对《巴黎协定》相关流程、原则和规定的解释与阐述分为以下两部分：一是具有普遍性的规定和要求，包括 NDCs 的目标和指标、进展跟踪和全球盘点、基于行政辖区的气候治理；二是对林业部门的规定和要求，涵盖具体行动、参照水平设定、人为减排或增汇的测算、碳核算原则。

一、具有普遍性的规定和要求

（一）目标与指标

《巴黎协定》不仅为各缔约方提供了制定 NDCs 的机会，还允许缔约方自行决定其 NDCs 目标的测度指标。因此，概述 NDCs 的构成以及实施与通报过程中的相关信息要求是有益的。总的来说，NDCs 的目标包括：相对于基准年份的全行业 和/或特定部门的绝对减排或限排目标、低于“一切照旧”（business as usual, BAU）水平的减排目标、排放强度目标，以及碳达峰与净零排放目标（UNFCCC Secretariat, 2020）。正如下文所言，林业部门的行动包括通过控制毁林和森林退化来减排的努力，通过造林、再造林和森林经营清除碳排放，以及收获木质林产品（harvested wood products, HWP）碳储存^①。

各缔约方的 NDCs 可能包含多种类型的目标，中国的首份 NDC 就体现了这一点（专栏 1.1）。在编制与通报 NDC 时，关键信息应包括所选各类目标的温室气体排放和清除量。因此，缔约方首先要明确其减排和清除的具体行动，并为这些行动选定相应指标；一旦选定了指标，就应收集关于每一个指标的数据信息，包括基线信息、任何往年曾更新的统计数据、最新可获取的数值。就像一个 NDC 可以被细分为特定部门的行动和目标一样，指标也可以被分解为次国家层面的行动和目标。部门与次国家层面的行动和目标通常包含在 NDC 之中（Chagas et al., 2020; Wunder et al., 2020）。

专栏 1.1 中国的第一个 NDC

在 2015 年提交给联合国气候变化框架公约秘书处的第一个 NDC 中，中国做出了以下承诺：

1. 在 2030 年左右实现二氧化碳排放达峰，并尽最大努力提前达峰；
2. 将单位 GDP 的二氧化碳排放比 2005 年的水平降低 60%~65%；

^① 考虑到林产品中的碳储量及其与森林生态系统固碳的联系，更为合适和有意义的是将这些行动一起称为林业部门的气候行动（即解决方案），而不是像文献中常用的基于森林的行动。

3. 增加非化石能源在初级能源消费中的份额，达到约 20%；

4. 在 2005 年水平基础上增加森林蓄积量 45 亿米³。

(National Development and Reform Commission, 2015)

为确保信息清晰和透明，各缔约方必须收集两方面信息：一是用于量化参照点和相关指标的数据来源，二是在何种情况下可以更新参照点数值信息。此外，必须仔细记录温室气体排放和清除核算所依据的假设条件与方法学。各方需依据《2006 年国家温室气体清单指南》选择其所依据的方法学和度量标准。

（二）进展跟踪与全球盘点

《巴黎协定》规定，缔约方大会（Conference of Parties, COP）定期盘点本协定的履行情况，以评估实现本协定宗旨和长期目标的集体进展情况（第 14.1 款）。第 13.7 款进一步规定：

各方应定期提供以下信息：（a）利用政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）接受、并由《联合国气候变化框架公约》缔约方会议（即本协定缔约方会议）商定的良好做法，编写的一份关于温室气体源的人为排放以及汇的清除的国家清单报告；并（b）跟踪在根据第四条执行和实现 NDCs 方面取得的进展所必需的信息。

因此，跟踪和更新国家层面的努力以评估各国是否实现了其目标的过程已经很明确，即“国家进展跟踪”；以及各 NDCs 的加总是否能够实现《巴黎协定》的总目标，即“全球盘点”（UNFCCC Secretariat, 2020; FAO, 2016）。换言之，国家进展跟踪和全球盘点是落实 NDCs 的主要国际机制。二者虽存在关联，但亦有显著区别。在详细说明这些差异之前，先介绍一下《巴黎协定》中定义的强化透明度框架（the Enhanced Transparency Framework, ETF）：“各方应根据缔约方大会通过的指导意见，促进环境的完整性、透明性、准确性、完备性、可比性和一致性，并确保避免重复计算”（第 4.13 款）。透明度指的是一个缔约方在其两年一度的透明度报告（biennial transparency report, BTR）中通报包括温室气体清单、所选的核算方法学以及用于跟踪进展的指标和最终证明是否实现其 NDCs 目标的信息。

除了国家层面的测度以及监测、报告与核查（monitoring, reporting, and verification, MRV）体系外，COP 还将通过技术委员会或专项程序对各国提交的信息进行国际评审。根据 ETF 要求，通过报告与评审机制获取的信息将作为全球盘点的重要输入，而全球盘点每五年开展一次（首次盘点于 2023 年完成）。ETF 机制通过公开缔约方实现 NDCs 的进展信息，进而推动各方提升气候行动雄心（UNFCCC Secretariat, 2020）。尽管 NDCs 目标本身不具有法律约束力，但 ETF

强烈敦促各缔约方，尤其是主要缔约方，不仅要履行承诺，在必要时还应主动提高减排力度。

例如，UNFCCC Secretariat（2015）和其他相关组织在评估各方最初宣布的NDCs后发现，很可能无法在21世纪内实现控制气温上升不超过2℃的总目标。随后便敦促主要缔约方提高雄心。作为回应，许多国家宣布最迟在21世纪中叶实现碳中和或调高某些气候目标。以中国为例，其2020年宣布力争在2060年前实现碳中和，并提出到2030年森林蓄积量比2005年增加60亿米³，同时进一步推进包括国际合作在内的相关气候目标（Energy Foundation China, 2020）。同样，在2022年9月23日递交给《联合国气候变化框架公约》秘书处的提升版NDC中，印度尼西亚将其无条件减排目标从当初的29%提高到31.89%，有条件减排目标则提高到43.20%（Republic of Indonesia, 2022）。

（三）基于行政辖区的气候治理

NDC制度设计采用基于行政辖区治理模式推进减缓气候变化的各种解决方案，这种治理途径具有一些明显的优势。首先，它能够显著提升各方采取必要行动并承担其责任的可能性，无论是州、区还是市，一个行政辖区都可以对其兑现承诺的表现负责。相比之下，非行政辖区实体（如当地非政府组织）可能不具备随着时间的推移兑现其承诺的公信力、行政权限或能力。基于行政辖区的治理途径还使得碳核算原则和规定更易实现。例如，仅拥有几片林分的小农户可能很难保持其森林碳储量的持久性，而一个县或州在持久性方面则没有多大问题，在允许伐木和其他商业活动的同时，县或州既可以轻松地实现其碳储量的额外性增长又能确保其长期稳定。

同样，可以基于行政辖区来监测和计算跨境贸易或土地利用变化引起的碳泄漏，从而不会对最终核算结果的公信力产生影响。后文将详细阐述森林碳核算中的额外性、持久性和避免泄漏原则。此外，有研究指出在林业部门内，基于行政辖区的治理途径实质上认可了各级政府在保护森林、减少排放和增加碳汇的任何现实努力中所发挥的必要和关键的作用（Boyd et al., 2018）。政府和非政府组织都应在特定行政辖区内开展工作，并助力当局履行其承诺。

森林应对气候变化解决方案的辖区治理途径也为政策实验和创新以及控制交易成本（包括与供应链参与者、原住民和社区建立伙伴关系的成本）提供了重要机会。然而，这种途径也面临诸多挑战，包括政府换届、公共部门能力有限、利益公平分配问题以及缺乏更广泛的支持和激励措施（Boyd et al., 2018; Phelps et al., 2010），所有这些挑战都可能阻碍营林措施取得成功所需的长期、持续的努力。然而，鉴于行政辖区治理途径的重要意义，缔约方已将NDC作为《巴黎协定》的基石。因此，政策对话必须充分反映这种基本的治理途径，各种森林碳项

目应该嵌套在辖区的计划之中 (Seymour and Busch, 2016)。

二、林业部门的规定和要求

(一) 具体行动

《巴黎协定》第 5.2 款明确规定：

“鼓励缔约方采取行动，包括通过基于成果支付，执行和支持在《公约》下已确定的有关指导和决定中提出的有关以下方面的现有框架：为减少毁林和森林退化造成的排放所涉活动采取的政策方法和积极激励措施，以及发展中国家养护、可持续管理森林和增强森林碳储量的作用；执行和支持替代政策方法，如关于综合和可持续森林管理的联合减缓和适应方法，同时重申酌情奖励与这些方法相关的非碳效益的重要性。”

这清楚地表明了林业部门行动的广泛性。此条款的第一部分几乎正是林业科学和政策界最初倡导的 REDD+ 之下的那些行动 (Nepstad et al., 2013; Seymour and Busch, 2016)。

然而如今，开展这类行动的主体不再局限于存在毁林和森林退化问题的热带发展中国家，还有许多其他国家在 NDCs 中包括了林业部门行动，如加拿大、中国和印度。上述条款的后半部分适用于发达国家缔约方在国际上实施林业部门行动的情形。值得注意的是，发达国家在其境内采取的行动大多依赖国内资金支持，而它们与正面临森林砍伐和/或森林退化的发展中国家开展国际合作时，核心前提是前者需为后者的 REDD+ 行动成果支付相应费用 (FAO, 2016; Seymour and Busch, 2016)。总的来说，缔约方通过资助、技术开发和转让以及能力建设等举措在气候变化减缓和适应方面开展国际合作 (UNFCCC Secretariat, 2020)。

由于森林碳储量由森林生态系统碳汇和 HWP 固碳组成，森林碳核算所需的信息包括森林生物量（地上和地下）、土壤和在役林产品清单。一般来说，森林生物量在历史上并未作为典型的国家森林资源清查 (national forest inventory, NFI) 系统的一部分进行测量，国家森林资源清查系统一直专注于常规的森林蓄积量 (Liu and Yin 2012; Zeng et al., 2015)。但是，森林生物量可以通过使用生物量扩展因子直接从蓄积量中得出，然后再采用适当的碳转化因子从生物量中估得碳储量 (Fang et al., 2001; Piao et al., 2009)。或者，可以运用基于实地或地理空间观测的复杂生态系统模型去量化各种生物量甚至土壤碳库的变化 (Luyssaert et al., 2010)。

同时，可以使用 FAO 提供的 FORSTAT 数据库 (Johnston and Radeloff, 2019; Geng et al., 2019) 或其他数据来源，结合 IPCC (2006, 2019) 推荐的方法学来估算 HWP 中的碳储量。证据表明，在许多国家，HWP 中储存的碳是有限的；

但在一些大国（如加拿大、中国和美国）HWP中储存的碳是相当可观的（Johnston and Radeloff, 2019）。总体而言，这部分储碳量在林业部门总碳储量中所占比例相对较小（IPCC, 2006）。

核算和评估的挑战通常来自森林土壤（因为土壤储碳量很少被系统地测量），以及森林以外树木（trees outside of forests, TOFs）、城市树木与森林，这些范畴往往未被国家森林资源清查充分覆盖（FAO, 2020a）^①。因此，即使在发达国家也很难获得森林生态系统的全面清查数据（FAO, 2020b）。如果没有所有必需的清查数据，缔约方进行全面的森林碳核算或政策评估是不太可能的。因此，抵减信用的认定和基于成果支付只能是局部的。例如，一个缔约方可根据森林生物量和 HWP 碳储量来核算林业部门的行动，而森林土壤、TOF 和城市树木等碳库被排除在外。专栏 1.2 显示了中国 FES 数据的可及程度。

专栏 1.2 中国的森林数据可及程度

自 20 世纪 70 年代初以来，中国以永久样地（约 415 000 块）为基础，连续开展了 9 次国家森林资源清查，每次间隔 5 年。后来，通过地理空间手段选取临时样地对这些永久样地进行了补充。从其生成的清查报告中，可以确定以 2005 年为基期的参照水平并估算出森林面积和蓄积量随时间的变化（NFGA, 2019）。但中国的国家森林资源清查一直以可出售的木材为导向，所测定的蓄积量并不涵盖全部地上生物量，更不用说地下生物量了。得益于开发的针对各种森林类型的生物扩展因子和碳转换系数，现在能够从蓄积量得出总生物量中的固碳量（Fang et al., 2001），据此可以确定一定时期内的森林生物量中碳储量的增量。另外，森林土壤碳尚未纳入国家森林资源清查的测定范围（Piao et al., 2009）。虽然土壤是森林生态系统的—个主要碳库，但其固碳量的不确定性更高且可靠性也更低。

（二）人为排放与清除的检验

NDCs 旨在“实现温室气体人为排放之源和清除之汇的平衡”（第 4.1 款）。原则上，缔约方的贡献都应来自人类行动，要去除任何自然因素的影响。这意味着减缓行动的结果必须要通过“人为所致”的检验（Grassi et al., 2018）。本节引用 *Nature Climate Change* 期刊中的两篇相关文献（Grassi et al., 2021；Ogle and Kurz, 2021）来阐明这一点。

^① 根据 Liu 和 Yin（2012）以及 Guo 等（2014）的观点，在中国，用材林、经济林和竹林被视为常规类型的森林，而其他林分——疏林、灌木林和非林地上的树木，包括四面绿化和零星树木——被视为森林以外树木，或称 TOFs。

估计化石燃料燃烧中人为造成的 CO₂ 排放量相对直接, 因为化石燃料是通过开采或钻探获取的, 因此, 所有的排放都被认为是人为所致。然而, 将陆地生态系统的碳排放和清除归因于人为所致是更加复杂的, 因为即使没有人类活动, 也存在陆地生态系统通过植物光合作用清除 CO₂ 的自然效应, 或通过地表枯落物和土壤有机物分解以及林火排放 CO₂ (Ogle and Kurz, 2021)。人类的直接活动会显著影响陆地生态系统的 CO₂ 排放和清除, 如毁林导致林地变为非林地, 以及相反的森林再生工程。更难量化的是气候变化、大气中 CO₂ 浓度提高和氮化物沉积等间接人类活动所导致的陆地部门的排放量和清除量 (Ogle and Kurz, 2021)。

气候科学家经常使用综合评估模型 (integrated assessment models, IAMs), 通过考虑直接影响 CO₂ 通量的人类活动 (如砍伐森林、木材采伐和其他土地管理实践), 来衡量限制全球变暖的进展。Grassi 等 (2021) 表明, IAMs 估计的 CO₂ 排放量和清除量与政府在其国家温室气体清单中汇编的用于指导其减排目标的估计值不一致。据估计二者相差超过 50 亿吨 CO₂/年, 这一差异主要是由于 IAMs 和国家温室气体清单对基于陆地系统的人为排放和清除的特点在概念上存在差异。因此, 人类间接活动造成的陆地碳排放量和清除量的很大一部分在 IAMs 中被认为是“自然的”, 但在国家温室气体清单中是“人为造成的”。

通过将全球动态植被模型中的间接排放量和清除量与 IAMs 的直接排放结合起来, Grassi 等 (2021) 消除了绝大部分差异。这对基于森林的气候行动和碳核算来说是重大进展 (Ogle and Kurz, 2021)。其核心启示在于, 至少现在可以直接基于国家森林资源清查信息和其中的划分来确定森林生物量和碳储量动态是否是人类行动所驱动并进行森林碳核算。只要存在某种经营活动, 森林生态系统及其生物量和土壤碳库就可以纳入核算; 反之, 如果森林生态系统没有受到任何人为经营, 其生物量和土壤碳库就不应纳入核算。

(三) 基线水平

应强调的是, REDD+ 和非 REDD+ 情况具有不同的基线或参照水平。对于在其 NDCs 中设定减排和清除目标的非 REDD+ 国家, 行动的基线水平设定在某个时间点, 以 CO₂ 当量吨数为单位。再以中国为例, 鉴于其选择 2005 年作为 NDC 的基准年份, 2005 年的温室气体排放量, 森林生态系统中的碳汇量, 以及 HWP 中的碳储量便成为基线水平。未来年份 (比如 2030 年) 的减排或清除量就是根据这些基线水平确定的, 如稍后的专栏 1.3 所示。

对于 REDD+ 国家, 在评估抵减信用和支付补偿之前, 必须确定一个毁林和森林退化 (即 REDD) 带来的碳排放量, 或造林和再造林、改善森林经营及 HWP 碳储量 (即+) 的反事实, 也就是“一切照旧”的情形 (Roopsind et al., 2019;

Nepstad et al., 2013)^①。在这里，基线水平是针对给定的时期，将此期间实际的排放量和清除量与对应的基线排放和清除相比较。挑战在于准确识别 REDD+活动的趋势线，尤其是在缺乏可靠的历史测量和监测数据和/或现有森林状况观测结果随时间推移存在波动的情况下。

所以，考虑到《巴黎协定》的 NDC 架构以及制定这些基线水平的可行性，《联合国气候变化框架公约》主要关注 REDD+国家的森林基线水平，以确保这些基线水平与国家温室气体清单估计保持一致。有关详细信息请参阅 UNFCCC REDD+网络平台 (<https://redd.unfccc.int/>)。

当然，作为过渡性措施，可以制定和使用次国家级的森林基线水平。缔约方大会已经认识到为制定此类基线水平提供充足和可预测的资金与技术支持的重要性与必要性。基线水平一经制定并提交，将由缔约方大会组织的技术审查流程进行评估。相关研究指出，确定 REDD+国家和次国家（地区）行政辖区的基线水平可能有难度，更不用说地方项目了；并且可能会出现核算偏差甚至碳泄漏问题（Mertz et al., 2018; West et al., 2020）。下一章将在阐述林业部门气候解决方案治理多维度内涵时，对该问题及其他相关问题展开深入探讨，而相关实证证据与详细论述将在第七章和第九章呈现。

另一个相关的复杂问题是，一些国家，如印度尼西亚和巴西，已经做出了无条件和有条件的承诺——前者的履行无须来自国际社会的基于成果支付，而后者只有在收到来自国际社会的基于成果支付时才会履行。理论上，应该制定和使用一套通用的排放和清除基线水平，特别是因为两种承诺通常是相对于同一基期做出的。然而，在实践中，有条件承诺的基线水平可能会受到比无条件承诺的基线水平更多的审查和争议。缔约方大会需与相关各方协商和谈判解决这一问题。

（四）碳核算

只有当减缓行动相对于已建立的基线水平减少人为排放时，才可纳入核算范围。如前所述，为林业部门行动设立基线水平并不是一件简单的事情。因此，关键的第一步是界定并就缔约方的基线水平达成共识——相关行动的额外性需基于该基准线进行判定。例如，在净-净核算中，将基准年度的总净排放量/清除量减去核算期间的总净排放量/清除量，就得到由这些行动产生的总信用额度/亏欠量。显然，这种方法非常适合那些非 REDD+缔约方（如中国、印度和美国），但不一定适用于 REDD+国家（如巴西、印度尼西亚和刚果共和国）。

^① 原则上，基于成果支付也可以在非 REDD+国家的林业部门实行。少数例子是加利福尼亚、中国和新西兰的排放交易体系（emission trading scheme, ETS），尽管其在“成果”或“支付”方面都面临挑战。例如，加利福尼亚的 ETS 规定，不超过 8%的限额排放可以通过各种封存和储存手段抵减，支付金额为当时的市场碳排放配额的交易价格（Coffield et al., 2022），本书将在第七章和第九章论述这一问题。

除了获得碳信用之外，发展中国家可以通过与发达国家或其他组织开展碳抵消的国际合作，实施基于成果的 REDD+付费方案，此时《联合国气候变化框架公约》关注的是超越基准情景的减缓（FAO，2016）。这意味着，只有那些能够带来额外大气中 CO₂ 减排量（即相较于在没有执行此行动情况下所实现的减排增量）的行动才被纳入核算，这是确定额外性的另一种方式（Sedjo and Sohngen，2012）。根据这一定义，林业部门行动导致的排放减少（或清除增加）并不总具有额外性（Mertz et al.，2018；Roopsind et al.，2019；Coffield et al.，2022）。

由于林木中储存的碳在其被砍伐后最终会重新排放到大气中，或因自然枯死与灾害干扰而损失，任何基于森林的减缓行动如果设计不当都会导致非持久性问题。持久性要求进入核算系统的碳汇/储存在足够长的时间内不会释放（FAO，2016）。因此，林业部门的行动不可避免地需要长期的土地利用或管理承诺，这可能会使其中一些行动变得不那么吸引人或可行（例如，造林和再造林后土地可能会被变回非林业用途）。

一般来说，行动的持续时间应与 NDC 的实施周期相匹配；当然，它必须比《京都议定书》框架下“临时核证减排量”或“长期核证减排量”的实践标准更具持续性与稳定性（FAO，2016）。事实上，IPCC（2022）和其他组织已经指出，长期气候变化评估应至少覆盖至 21 世纪末的时间维度（Ou et al.，2021）。但是如前所述，一旦从行政辖区的角度看待森林的碳汇/储存，这个条件就不再是一个主要障碍。

此外，除了改变土地利用方式来储存碳之外，不同行政辖区之间（国内或国际）进行贸易的可能性意味着必须考虑与产品流动相关的碳流动。如果一个行政辖区进口的林产品多于出口，就可能导致碳泄漏问题。碳泄漏指的是土地利用变化或跨辖区的林产品流动可能导致碳在其他地方释放，即排放转移（Pan et al.，2020；Sedjo and Sohngen，2012）。为实现其 NDC、获得碳信用或者基于成果的支付，缔约方还必须制定国家战略、建立国家（和次国家）森林监测系统，并提供一份关于保障措施实施情况的报告（FAO，2016）。如果某些做法与要求不一致，则必须在国家进展跟踪或全球盘点开始之前加以纠正。专栏 1.3 总结了我国森林碳核算框架及 2006 年至 2020 年间的估计结果。

专栏 1.3 中国的核算框架和结果

鉴于我国 NDC 的具体内容，将其 2005 年的排放量、碳汇量和储存量作为基线水平；然后再根据这些基线水平来衡量增加值，即相对于基线水平减少的排放或增加的储碳。由于 2020 年的碳排放尚未报告，估计 2006 年至 2020 年间的总碳排放量将达到 367.92 亿~370.31 亿吨。与此同时，2006 年至 2020 年间，森林面积增加了 47.6 万公顷，单位蓄积量平均增加到 80.59 米³/公顷。综合考虑，这

些变化使森林总蓄积增加了 50.7 亿米³。森林生物量中固碳量将达到 2.592Pg^①，抵减 7.00% 的排放量，这与 Yin 等（2010）的预测非常接近。加上林产品中的碳储量（0.491Pg），抵减率达到 8.33%。考虑到土壤固碳约占森林生态系统固碳的 30%，抵减比率变为 11.77%（Hou and Yin, 2022）。

第三节 结 语

本章的目的是依照《巴黎协定》的 NDC 框架，讨论与林业部门应对气候变化行动相关的流程、原则和规定。讨论涵盖了对在实施某些林业部门行动中可能遇到的棘手问题的看法和解决办法。这种探索是有趣且有益的，希望本章的这些探索能得到读者认同。开篇这一章为全书其他章节奠定了清晰、具体的基础。

总之，根据 NDC 中规定的行动与目标，缔约方必须选择适当的指标并使用恰当的假设和方法来跟踪实现其目标的进展。然后，按照相关原则与规定——例如根据既定基线或参照水平衡量的额外性、持久性和泄漏——进行碳核算和盘点就变得可行。但是，在不同情况下存在不同的基线水平。缔约方必须拥有连续的温室气体排放和清除清单，以制定、通报和更新其 NDC。

各国对温室气体排放清单的数据可得性关注度有限，而现有信息与林业部门行动核算所需信息之间存在较大差距。具体而言，缔约方通常具备可靠的森林蓄积量数据，并可据此估算生物量中的碳固存量；然而，对于森林土壤碳库、城市树木与森林，以及其他区域的森林以外树木相关的碳通量，缔约方可能缺乏完备数据（FAO, 2020b）。若缔约方希望将这些碳库纳入其 NDC 核算中的碳抵减信用范畴，则需改进相关测算与监测工作。

与此同时，基于成果支付方案将难以大规模实施。这是因为一方面解决 REDD+ 项目（projects）和计划（programs）的基线水平界定难题，进而明确其碳额外性，以及泄漏与持久性等核心问题，需要投入大量时间和精力，另一方面获得承诺的国际融资一直困难重重。发达国家在 2009 年承诺，到 2020 年每年动员 1000 亿美元用于资助发展中国家应对气候变化的行动，但这一承诺尚未兑现（Roberts et al., 2021）。按计划，其中一部分资金（每年约 100 亿~150 亿美元）应该用于支持 REDD+ 倡议（Groom et al., 2022）。尽管 G7 国家在英国格拉斯哥的缔约方大会上重申了履行承诺的意愿，但目前尚不清楚其将如何履行承诺（NCC Editorial, 2021）。由于篇幅有限，本章无法深入探究碳金融和碳定价，这部分议题将在第七章中予以讨论。

① peta-grams, 拍克，即 1Pg=1×10¹⁵ 克或 1×10⁹ 吨。