

学习贯彻党的二十届四中全会精神

doi:10.3969/j.issn.1672-5956.2025.1105.1112

自愿减排机制下海洋碳汇本质与市场构建逻辑

孙国茂¹, 魏震昊², 崔毓辰³

(1. 山东工商学院 金融学院, 山东 烟台 264005; 2. 天津社会科学院 海洋经济与港口经济研究所, 天津 300191; 3. 莫纳什大学 商学院, 澳大利亚 墨尔本 3800)

[摘要] 回顾和梳理了自愿减排议程的相关制度与市场构建, 针对已有海洋碳汇研究存在的问题, 阐释了自然界碳平衡状态下碳汇与人类经济活动产生碳汇的本质区别和自愿减排机制下海洋碳汇的本质, 提出“可信化碳汇”概念, 认为海洋碳汇是人类基于与海洋相关的自然解决方案而从事的以碳移除为目的的全部经济活动, 方法学缺失以及蓝碳项目投资热情不足是制约海洋碳汇市场发展的根本原因, 已有研究混淆了自然碳汇与人为碳汇的区别, 侧重于以碳汇机理与效率测度的海洋碳汇自然科学研究, 忽视了经济学视角下可交易碳汇的内涵、要素与机制设计, 因此, 基于《巴黎协定》第 6.4 条的海洋碳汇市场构建应遵循“海洋碳汇项目—海洋碳汇方法学—海洋碳汇核证—海洋碳汇交易”逻辑框架。

[关键词] 可信化碳汇; 海洋碳汇; 海洋碳汇交易; 京都议定书; 巴黎协定

[中图分类号] F832.5; X145 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-5956(2026)01-0001-14

一、研究背景与问题的提出

党的二十届四中全会通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》提出“实施碳排放总量和强度双控制度……加快温室气体自愿减排交易市场建设”。《2035 年中国更新版国家自主贡献报告》(Nationally Determined Contributions, 简称 NDC3.0) 承诺到 2035 年, 中国全经济范围温室气体净排放量比峰值下降 7%—10%, 力争做得更好。非化石能源消费占能源消费总量的比重达到 30% 以上, 风电和太阳能发电总装机容量达到 2020 年的 6 倍以上, 力争达到 36 亿千瓦, 全国碳排放权交易市场覆盖主要高排放行业, 气候适应型社会基本建成。这是自 2015 年我国首次发布国家自主贡献以来, 第三次对 NDC 目标进行更新, 主动将减排目标进一步提高。从具体目标看, NDC3.0 首次提出碳排放总量降幅目标, 这意味着我国碳排放控制政策体系将

[收稿日期] 2025-11-05

[基金项目] 天津市哲学社会科学规划青年项目“海洋新质生产力推动天津海洋经济高质量发展的理论探索与提升策略研究”(TJYJQN24-009)

[作者简介] 孙国茂, 1960 年生, 男, 山东烟台人, 山东工商学院特聘教授, 青岛大学教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为公司金融与资本市场理论、制度经济学、绿色经济, (电子信箱)swadewzh@qq.com。通讯作者: 魏震昊, (电子信箱)swadewzh@qq.com。

从以往以排放强度为主转向排放强度和排放总量并重。从森林蓄积量上看,NDC3.0 提出森林蓄积量要达到 240 亿立方米以上,与上一轮 NDC 目标相比,增幅达到 300%,显示我国在新一轮 NDC 进程中将大力发展负排放(Negative Emissions)并致力建设更系统化的气候变化应对体系的战略决心。

事实上,2023 年 9 月,生态环境部等部门联合印发《温室气体自愿减排交易管理办法(试行)》,标志着我国国家层面的核证自愿减排(China Certified Emission Reduction,CCER)机制正式建立。2024 年 1 月,全国温室气体自愿减排交易市场启动后,核证二氧化碳自愿减排量的市场交易价格一度突破 100 元/吨。全国自愿减排交易市场的启动,为碳信用项目的开发带来了明确而强烈的市场信号。学界和业界普遍认为,开发高诚信度的碳信用项目,特别是那些基于自然解决方案的能够实现负排放和碳移除的项目,必将获得可观的价格溢价。在此背景下,海洋碳汇也成为社会各界关注的焦点,学界和业界甚至展示更大的雄心认为,在我国实施海洋强国建设,加快发展海洋经济和海洋科技的同时,建立基于自愿减排机制的海洋碳汇市场不仅是 NDC 的重要内容,更是人类应对气候变化议程中的中国贡献^[1-2]。

但是,纵观全球自愿减排市场交易现状,海洋碳汇交易与海洋碳汇市场发展并非一帆风顺。自“蓝碳”(Blue Carbon)概念被提出以来,学界围绕“蓝碳”概念开展了长达 30 多年的持续而广泛的研究^[3-5]。但是这些研究普遍存在两个方面的问题:一是在学理层面上,明显受到联合国环境规划署(United Nations Environment Programme,UNEP)和联合国政府间气候变化专门委员会(The Intergovernmental Panel on Climate Change,IPCC)等国际权威机构的影响,在研究框架和研究思路受到这些机构发布的研究成果约束。具体地说,大量研究沿着 UNEP 和 IPCC 等提出的理论、概念和假说等,将海洋碳汇不断重复定义为海洋生物吸收、储存大气中二氧化碳的过程、活动和机制。其实,人类迄今为止的自然科学研究已经完成了这样的科学认知,海洋可以通过物理、化学和生物学机制完成储碳,通过深海固碳、海洋生物固碳、海滨湿地固碳等方式实现海洋碳汇过程。二是在实践层面上,尚未建立统一的与海洋碳汇相关的技术方法和标准规范,广泛应用于指导人类的经济活动,从而产生可确权、可计量、可追溯和可交易的海洋碳汇。由于海洋碳汇研究涉及海洋科学、环境科学、生态学、经济学等跨学科多领域,因此,海洋碳汇概念被频繁使用于滨海湿地碳汇、海岸带碳汇、海藻碳汇、渔业碳汇等等。这种学理上的概念滥用现象,不仅从科学认知上模糊了海洋碳汇的边界与范畴,混淆了“可交易碳汇”与“不可交易碳汇”的概念,也使海洋碳汇概念严重泛化,导致了一些学术质疑与争议。与此形成鲜明对比的是,国际自愿减排市场上已完成的海洋碳汇交易量微乎其微。统计显示,2023 年全球海洋碳汇交易额突破 4.2 亿美元,仅占全球碳交易市场的 0.42%^[6]。同样,国内报道的海洋碳汇交易,绝大多数不符合《温室气体自愿减排交易管理办法(试行)》规定的核证标准,要么是缺乏碳信用项目,要么是缺乏海洋碳汇方法学支撑。可以肯定的是,在非标准化和规范化前提下完成的海洋碳汇交易是不可持续的。

国内外海洋碳汇交易的现实启示我们,海洋碳汇市场的构建与发展首先取决于海洋碳汇项目的建设并辅助以海洋碳汇方法学的建立。海洋碳汇项目是实现人类经济活动过程中自然碳移除过程信用化的载体,它因此也被称为碳信用载体——这与自然生态过程的碳移除产生了本质的区别。海洋碳汇方法学则是基于自然科学认知与自然科学实践的规范与标准,它不仅确保海洋碳汇项目所产生的碳信用可确权、可计量和可交易,也确保了在海洋碳汇项目中所产生的碳信用交易的可持续性。本文根据最初提出“碳汇”概念的法定文件,创新性提出“自然碳移除信用化”概念,或者说是“可信用化碳汇”概念,即只有可信用化的碳汇才是可交易的碳汇,完全天然的或者说自然生态过程中形成的碳汇由于不可信用化,因此也是不可交易的。在此基础上,本研究提出“海洋

碳汇项目－海洋碳汇方法学－海洋碳汇核证－海洋碳汇交易”的海洋碳汇市场构建逻辑。

二、基本概念、国内外相关制度与文献综述

(一)基本概念与范畴

碳汇(sink)的概念最早由 UNEP 提出。1992 年 5 月,《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)对碳汇的定义是:从大气中清除温室气体、气溶胶或温室气体前体(precursor)的任何过程、活动或机制。1997 年 12 月,基于 UNFCCC 达成的《京都议定书》(Kyoto Protocol)提出新的目标,力争将大气碳含量维持在一个稳定水准,避免过度碳排放造成气候灾害。为了实现这一目标,《京都议定书》对碳汇概念做出必要补充,使得这一概念更加清晰化和具体化。综合 UNFCCC 和《京都议定书》可以发现,碳汇概念包含了四个关键信息,这些关键信息决定了碳汇本质。一是产生碳汇的介质——大气。工业革命以来人类经济活动产生的过量碳排放大幅增加大气中温室气体的浓度,增强了自然温室效应,导致了严重的生态失衡。因此,一切针对气候变化的环境行为的最终目标都是降低大气圈二氧化碳含量,或者说是降低大气层二氧化碳浓度。科学研究表明,工业革命之前大气中二氧化碳浓度仅为 280ppm^[7],最新发布的《温室气体公报》(WMO Greenhouse Gas Bulletin)指出,2024 年大气中的二氧化碳水平创历史新高,达到了 423.9ppm。二是碳汇的对象——二氧化碳等温室气体。现有科学研究认为,二氧化碳(CO₂)、臭氧(O₃)、氧化亚氮(N₂O)、甲烷(CH₄)、氢氟氯碳化物类(CFCs、HCFCs)、全氟碳化物(PFCs)及六氟化硫(SF₆)是主要的温室气体源,其中二氧化碳占绝大多数。三是人为的碳汇行为——指任何人类活动(human-induced activities)导致的碳移除过程、活动或机制,而非自然移除二氧化碳的过程。《京都议定书》还提出了森林碳汇概念,但是严格限定,自 1990 年以来人为造林和砍伐森林产生的温室气体源和汇的净变化。值得一提的是,在《京都议定书》全文中,“人为”(anthropogenic)一词反复出现,如人为碳排放(anthropogenic emissions)和人为碳移除(anthropogenic removals)等。与人类的经济活动相对应,《京都议定书》第 5.1 条(Article 5.1)规定,建立温室气体的各种源的人为排放和各种汇的清除的国家制度以及 IPCC 所接受的估算温室气体各种源的人为排放和各种汇的清除方法学。四是碳汇的载体——碳汇项目,用于计算产生源的温室气体排放和汇的清除方面的净变化。《京都议定书》第 6.1(a)条(Article 6.1(a))规定,任何碳汇项目必须经过(缔约方)政府批准。由此可见,UNFCCC 和《京都议定书》强调的是,人为活动产生的碳移除对气候变化的影响,建议(缔约方)政府在能源、运输、工业、农业等领域促进合作发展,通过人为碳减排、移除和固存等方式减少历史遗存的过量人为碳排放。

从 UNFCCC 对碳汇的定义以及《京都议定书》的具体条款规定我们可知,碳汇概念有着严格的学理范畴:碳汇始终是与人类的经济活动相关,它只能通过政府批准的项目实施,实现人为的碳移除目标。科学研究表明,人类工业革命之前大约 100 万年,大气中二氧化碳浓度在 190ppm——280ppm 之间变化^[8]。也就是说,从生态学角度理解,自然界亿年来一直就存在二氧化碳和“碳循环”。我们可以认为当二氧化碳浓度达到 280ppm 左右时,大自然处在“碳平衡”状态,此时的生态环境为最佳状态^[9]。“碳平衡”状态下的“碳循环”,即纯粹的自然碳排放和自然碳移除,与人类经济活动无关。工业革命以来的人类经济活动产生的碳排放破坏了数亿年来大自然的碳平衡,导致了严重的生态恶化。正如诺奖得主诺德豪斯(William D. Nordhaus)所说,全球已处于人类这个物种出现在地球以来所经历过的温度范围之外。为了恢复“碳平衡”,人类基于自然解决方案而从事的以碳移除为目的的全部经济活动,都可以界定为“碳汇”。本文重点讨论海洋碳汇。基于以上,我们可以将海洋碳汇理解为,人类基于与海洋相关的自然解决方案而从事的以碳移除为目的的全

部经济活动。

基于科学认知,与陆地碳汇相比,海洋碳汇最大的不同是二氧化碳或者说是产生碳汇的介质发生了变化。由于同一物质在不同的状态(如固态、液态和气态)下,发生物理、化学反应的速度有很大差异,因此,不同相态之间(如气相与液相之间)传质过程也会发生变化。不难理解,二氧化碳在大气中的传质过程与在海洋中的传质过程有很大差异,这意味,在海洋中发生的二氧化碳移除量并不能等同于在大气中的二氧化碳移除量。这种不同介质的差异将导致建立海洋碳汇方法学的难度增加。截至目前联合国环境署(United Nations Environment Programme, UNEP)、粮农组织(Food and Agriculture Organization, FAO)和教科文组织政府间海洋学委会(Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, IOC)《蓝碳:健康海洋的固碳作用——快速反应评估报告》(Blue Carbon: The Role of Healthy Oceans in Binding Carbon-a Rapid Response Assessment)(以下简称“蓝碳报告”)提出的三大海洋碳汇生态系统中的海草床碳汇(Seagrass Carbon Sink)、IPCC发布的《气候变化中的海洋和冰冻圈特别报告》(Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate)提出的巨型藻类碳汇(Algal Carbon Sink),以及焦念志等学者提出的渔业碳汇(Fishery Carbon Sink)等,都属于海洋中发生的二氧化碳移除。

(二)国内外相关制度

前文提到的《京都议定书》主要是为了限制发达国家温室气体排放,要求发达国家在2008年—2012年期间将二氧化碳等温室气体排放量较1990年减少5.2%。具体减排任务是:欧盟、美国、日本和加拿大分别减排8%、7%、6%和6%。2012年《京都议定书》到期后,世界各国出现短暂的减排目标空档期,直到2015年12月《巴黎协定》(The Paris Agreement)签署。

《巴黎协定》以温度控制为核心目标,将全球平均温上升控制在工业革命前水平的2摄氏度以内,力争控制在1.5摄氏度以内。《巴黎协定》虽然没有对各国减排目标做出规定,却要求各国必须提交NDC目标。我国承诺的第一轮NDC目标就是在《巴黎协定》签署后提交的。《巴黎协定》提出建立全球碳交易市场,通过国际碳交易机制促进全球温室气体减排,不仅为全球碳交易设计了新的规则和框架,也为各国政府、企业和碳交易市场参与者创造了前所未有的机会。

对于《京都议定书》中的自愿减排机制,《巴黎协定》在第6.4条(Article 6.4)中做出规定。具体地说,《巴黎协定》6.4条机制要求参与国际自愿减排交易市场的企业或项目开发需要满足四项内容:

一是项目设计与开发流程。参与6.4条机制的碳减排项目首先需要根据《巴黎协定》下的碳市场规则进行设计。这涉及以下几个方面:①项目类型:项目可以涉及多种形式的减排,包括可再生能源、能源效率、碳捕集与封存(Carbon Capture and Storage, CCS)、造林和土地使用变化等项目。②减排量的计算与核算:项目需要计算能够减少的温室气体排放量。减排量的核算需要依据国际标准、方法学和技术指南。③可持续发展标准:除了减排效果外,项目还需要符合可持续发展目标,这意味着项目应该避免对环境、社会经济带来负面影响。二是减排项目须获得国家批准。由减排项目主管政府部门(如环保部或气候变化部)批准,证明项目是合法且符合国家减排计划,确保减排成果不被重复计算并符合全球气候变化目标。三是减排项目的注册与认证。减排项目获得批准后,可以向6.4条机制下的相关认证机构申请注册。这些机构通常是由国际气候组织(International Climate Organization)、联合国气候变化框架公约(UNFCCC)等机构认证的独立组织,负责审核和认证项目的减排效果。①注册与核查:项目需要通过国际认证机构的审核,确认项目符合所有标准,并能够提供可验证的减排数据。这一过程包括多次技术审查、数据验证和第三方审计。②减少温室气体排放的可验证性:认证机构将确保项目的减排量是基于合理、透明的核算

方法,且这些减排成果无法被其他国家或项目重复使用。四是减排量交易。减排项目获得认证后,就可以将该项目产生的碳信用进行交易。这些碳信用可以在国际市场上进行买卖,或者用于实现国家的减排承诺。①交易与国际转移:碳信用可以在市场上进行交易,或者被转移到其他国家作为实现减排目标的工具。国际转移和交易的过程必须符合透明性、审计和监督的规定,以确保市场的完整性。②碳市场的透明性:所有的碳信用交易都需要经过透明的监管框架,避免碳信用被重复计算,确保减排的真实性和市场的公正性。

迄今为止,我国出台的《温室气体自愿减排交易管理办法(试行)》,其底层逻辑和制度框架与《京都议定书》和《巴黎协定》一脉相承,对减排项目审定、减排量核查、减排量交易、监督管理等环节作出了明确规定,特别是在附则中重申了温室气体的定义—大气中吸收和重新放出红外辐射的自然和人为的气态成分,也强调了唯一性、额外性和保守性,旨在明确各自愿减排项目的边界和产权,鼓励高附加值、高技术含量的项目开发。限于本文篇幅,相关内容不再赘述。

(三)已有的研究及文献综述

2006年10月,著名的《斯特恩报告》(The Economics of Climate Change: The Stern Review)发表,基于经济学视角阐释了气候变化的底层逻辑,报告强调了基于自然减排或增汇的人为方案的战略意义^[10]。报告隐含了两个至关重要却又极容易被忽略的理念,一是即使全球实现“碳中和”,仍要继续“负排放”;二是温度升高导致的生物多样性破坏不可逆转,因此建立有效的“负排放”机制刻不容缓。2015年12月,联合国应对气候变化议程中最具有里程碑意义的《巴黎协定》,不仅明确了全球温控的强制性任务和节点,并要求各国每五年提交减排计划(国家自主贡献),推动碳市场交易,鼓励发达国家对发展中国家提供资金和技术支持,旨在围绕人类碳足迹进行更大规模、更广领域的制度设计。

一直以来,由于在碳排放源头端可测可控,学术界与政府决策部门把实现“双碳”目标的公共资源和制度设计更多地聚焦“减排”路径,相比之下囿于自然科学研究水平以及人类对气候变化的认知有限,碳汇(或者说负排放)被长期忽视。2009年,联合国《蓝碳报告》发表后,蓝碳概念首次得到官方肯定并在此后多年来日益受到学界关注。来自澳大利亚的著名海洋科学家彼得·麦克雷迪(Peter I. Macreadie, 2018)提出了“蓝碳科学”(Blue Carbon science)的概念。他认为有必要建立一个全面的蓝碳科学研究计划。因为,尽管生物碳研究已形成成熟范式,但仍存在争议——如碳酸盐生成在生物碳中的作用存在不同观点,以及海藻是否参与生物碳形成等问题。需要将研究成果整合到更完善的科学框架中,以满足深理解沿海生态系统在气候变化减缓与适应中作用的迫切需求^[11]。凯丽·罗杰斯(Rogers Kerrylee, 2023)等揭示蓝碳作为天然气候解决方案的前景,运用均变论原理分析当代蓝碳的分布特征与行为模式,增强对海岸碳库长期演化的认知。她认为,要充分实现蓝碳效益,必须跨越关键认知鸿沟。当前亟待解决的重点包括:全面摸清蓝碳生态系统的全球分布,建立持续监测机制;破解蓝碳储存与封存的永久性与时间连续性难题——既要考虑海平面变化,又要应对气候变化对红树林、潮汐湿地、海草床及高纬度海域大型藻类分布的影响;最终明确影响站点碳储存量的关键因素并制定科学管理方案提升减排效益^[12]。2022年,大自然保护协会(The Nature Conservancy, TNC)等机构共同发布《高质量蓝碳原则与指南》(High-Quality Blue Carbon Principles and Guidance),对高质量蓝碳项目开发做出明确定义,提出基本原则:保护自然、赋权于人、采用最佳信息、干预措施和碳核算实践、因地制宜运营、调动高诚信资本,并对项目开发者、投资者和政府主体提出具体建议。

国内关于海洋碳汇研究主要集中在以下几个方面。一是海洋碳汇储量现状。焦念志的研究表明^[13-14],生态系统中约有55%的生物碳由海洋生物捕获,并且海洋中存储的碳总量约为 $3.9 \times$

10¹³, 占据全球碳总量的 93%, 相比陆地碳汇, 海洋碳汇具有循环周期长、固碳效果持久的优点。二是海洋碳汇固碳机理研究。赵云等的研究发现, 生物泵、微型生物碳泵、碳酸盐碳泵是海洋碳汇的关键固碳机理和独有的天然优势, 浮游生物、鱼类、藻类与贝类的协同作用, 可有效实现大气二氧化碳的捕获、吸附、下沉与封存^[15]。三是海洋碳汇效率核算与评估, 学者一致认为海洋碳汇相较陆域拥有更高的碳汇效率和更大的碳汇潜力。四是海洋碳汇的定价及经济价值研究, 沈金生等^[16]、徐敬俊等^[17]分别构建了成本收益定价模型、总经济价值法以及外溢效用模型对海洋碳汇价值进行有效测度, 一致认为海洋碳汇存在巨大的生态与经济价值, 并且外溢效应明显。五是海洋碳汇市场的顶层设计与制度构建, 包括市场建设的总体框架、理论基础与法治路径等^[18-20]。

纵览国内与海洋碳汇相关的研究, 一个显著的事实是, 不管是针对海洋碳汇的原理、过程与核算, 还是引申的碳汇价值等, 几乎全是关于海洋自然生态过程碳循环的研究, 少有针对可交易海洋碳汇的研究。换言之, 针对海洋碳汇的研究多停留在基于蓝碳资源的存在价值研究, 而非聚焦通过信用化过程的产权确权形成的蓝碳资本价值, 以及通过价值核算和交易形成的海洋碳汇产品、服务和要素价值, 多是在自然科学视角和范式下对海洋生态系统自然运行过程的探索, 缺乏在经济学或金融学视角下海洋生态系统价值实现的内涵、表现形式与路径探索, 其根本原因在于对海洋碳汇概念的误解。绝大多数研究参考并泛化了《蓝碳报告》以及 UNEP 相关研究提出的基本概念, 在笼统地将海洋生态系统自然固碳等同于海洋碳汇的前提下, 针对生态系统自然固碳过程中未知领域的研究, 导致了对自然科学领域海洋碳循环的机理及效率的过度聚焦, 忽视了基于人为开发、利用与保护活动产生的海洋碳封存的重要性, 缺乏针对海洋碳汇交易的方法学研究, 进而导致现实中海洋碳汇项目和投资积极性不高等突出问题^[21]。正如卡鲁赛斯(Tim J. B. Carruthers, 2024)等人所说, 蓝碳项目在社会治理、财务、技术以及科学研究方面的不确定性, 制约了可交易蓝碳的认证数量^[22]。

三、海洋碳汇方法学研究及海洋碳汇发展现状

(一) 国内外海洋碳汇方法学研究

迄今为止, 国内海洋碳汇交易并未形成统一性全国交易市场, 也未纳入核证自愿减排市场, 更多表现为地方性零散化的概念性创新, 不具有可复制、可推广的价值, 因此很难产生示范效应。例如广东、福建、海南、山东等地大胆尝试, 涌现出海洋碳汇贷、碳票、碳拍卖等海洋碳汇交易, 交易价格在 10 元—100 元/吨不等。其根本原因在于缺乏一个全国统一标准的海洋碳汇方法学。自愿减排方法学是指导温室气体自愿减排核算、审查与交易的指导性文件与基础性制度, 对审查核算、项目泄漏等做出了严格规定。全球主要的自愿减排机制均有明确的方法学相对应, 例如清洁发展机制(Clean Development Mechanism, CDM)、核证碳标准(Verified Carbon Standard, VCS)、黄金标准(Gold Standard, GS)等(见表 1)。针对中国, 《温室气体自愿减排项目设计与实施指南》对方法学作出了规范性指导意见, 对其选择和应用的注意事宜做出明确规定(见表 2)。早在 2013 年, 生态环境部和发改委发布了首批自愿减排方法学, 随后在 2014、2015 和 2016 年相继发布 12 批共 202 项方法学, 多涉及电力、化工、生物质能、交通等领域, 但多致力于通过技术改造实现有效碳减排, 仅有一个涉及碳汇项目(森林经营碳汇项目方法学, AR-CM-003-V01)。2024 年初, 全国温室气体自愿减排市场启动至今, 生态环境部已印发或公开征求意见的 CCER 方法学共 5 批 19 项, 其中已印发的为 2 批 6 项, 因此方法学共计 221 项。

针对海洋碳汇, 国际视角看, CDM 签发了超 8000 个减排项目, 但仅有塞内加尔红树林恢复项

表 1 国际主要自愿减排市场及海洋碳汇方法学概览

项目名称	简介	签发数量	海洋碳汇方法学
清洁发展机制 (CDM)	鼓励发达国家与发展中国家的跨境合作机制,涵盖新能源(风电、太阳能)、节能增效、甲烷回收利用、造林再造林等多个领域	117	退化红树林的造林再造林 (AR-AM0014)、湿地的造林再造林 (AR-AMS0003)
自愿碳标准 (VCS)	完全自愿参与的碳减排认证机制,兼容 CDM、CAR 等其他机制的部分方法学	56	REDD+ 方法学 (VM0007),沿海湿地方法学 (VM0024),潮汐湿地和海草恢复 (VM0033)
黄金标准(GS)	评估标准严格,仅对符合高环保要求、可持续效益显著的项目授予认证	60	可持续红树林管理
美国碳注册登记系统 (ACR)	全球首个碳信用注册机构,支持北美地区林业、农业、工业等领域的碳项目注册	13	沼泽湿地的恢复
中国核证自愿减排市场 (CCER)	作为全国碳市场的补充,用于抵消企业碳排放配额缺口,抵消比例有明确上限	19	红树林营造、滨海盐沼植被修复(征求意见稿)、海草床植被修复(征求意见稿)

表 2 CCER 自愿减排方法学的基本原则和要求

类别	相关要求
方法学选择	项目业主应在生态环境部备案的方法学中选择,并详细论述名称、版本及适用性
项目边界确定	明确界定项目设施或服务的地理边界以及基准线和排放情景下不同温室气体的种类及源与汇
基准线情景	对基准线情景下设施、系统和设备的相关信息说明,对同等产出或服务的情况做出论证,对现有设备替代可能性探讨
额外性论证	是否财务可行,或者存在融资、关键技术、技术人员等障碍
计算方法	分别描述基准线排放量和项目排放量的方法、步骤和结果
参数	包含了项目设计阶段与实施阶段的减排参数
项目监测	包含监测形式和分工、方法和程序、数据缺失和处理方式抽样方案等

目涉及海洋碳汇^[23],VCS 海洋碳汇项目也仅有 7 个,分布在几内亚比绍、印度等国。值得一提的是,2023 年底自然资源部公布新增的 4 项温室气体自愿减排项目方法学,红树林营造与造林碳汇赫然在列,弥补了碳汇领域方法学的空白,其中,红树林营造属于海洋碳汇方法学。2022 年自然资源部发布了《海洋碳汇经济价值核算办法》,为海洋碳汇能力评估和海洋碳汇经济价值核算与区域比较提供标准指导。2025 年 9 月,滨海盐沼植被修复和海草床植被修复方法学公开征求意见,标

志着我国在海洋碳汇领域和自愿减排市场建设的重大突破。

(二)海洋碳汇方法学研究的突出问题

目前,国内外针对海洋碳汇的方法学研究微乎其微。一个显著的特点是,大多核证减排方法学都是围绕红树林保护修复展开,其活动分类也大多划分为造林生态系统修复。横向比较红树林和造林碳汇的方法学不难发现,作为海洋生态体系的重要组成部分,红树林方法学与造林碳汇较为相似,或者说前者是后者的有益拓展和补充。红树林生态系统是生长在热带、亚热带潮间带的木本植物群落,依赖海水潮汐,其能在盐度较高的海岸滩涂中生存,是陆地向海洋过渡的重要生态带。借助特殊的生长环境,其植被和土壤能大量储存碳,碳储量远高于其他陆地森林,形成极强的固碳能力。相较之下,海草床、盐沼以及鱼类贝藻类等其他海洋碳汇项目长期处于滨海及深远海区域,往往涉及海洋渔业、海洋生态环境、海洋科技等众多跨学科和交叉学科领域,成为制约碳汇方法学制定的重要原因。由于海洋生态系统的流动性、复杂性、脆弱性等突出特征,因此在具体的碳核算、盘查、泄漏等环节更为复杂。突出表现为如下几个方面。

一是以气溶胶为代表的海-陆气体交换有待深化。《温室气体自愿减排项目设计与实施指南》指出,自愿减排项目的落脚点应当是减缓大气碳含量,这也意味着海洋碳汇方法学必然涉及海洋-陆地的碳循环与交换过程,具体包括河口-海洋、水柱-沉积物等介质交换,这其中对气溶胶(Aerosol)的深度探索至关重要^[24]。气溶胶是连接大气与海洋碳循环的重要媒介,一方面部分气溶胶(如含碳颗粒)可直接沉降到海洋表面,为海洋生态系统补充有机碳,成为海洋碳库的直接来源之一^[25]。另一方面,气溶胶中的营养盐(如氮、磷)和微量元素(如铁)沉降到海洋后,能刺激浮游植物生长。而浮游植物通过光合作用吸收二氧化碳,是海洋生物碳汇的关键起点。然而不同类型、不同来源的气溶胶(如沙尘型、燃烧型)对海洋生产力的提升效果不同,同时人类活动(如工业排放、化石燃料燃烧)改变了气溶胶的组成和浓度,加剧了对气溶胶吸湿过程、云凝结核活性等过程的长期监测难度。

二是海洋碳汇核查与监测技术有待提升。由于海洋空间介质流动性与复杂性,因此碳汇项目碳库变动频繁,长期存在的海域转让权、收益权与使用权分割问题,也导致海洋资源的产权确权与价值提升存在制度性障碍^[26]。其次,项目设计与实施阶段参数有待优化,其碳储量与温度、酸度等环境因素高度相关,海水养殖的碳汇效应还与微型生物、海洋溶解碳库以及摄食、呼吸和排泄等生理活动密切相关^[27]。此外,方法学对数据监测、核查等项目提出严格要求,但目前海洋碳汇监测体系不完善,现有数据主要依赖局部试点,尚未建立覆盖广泛且具高精度的海洋碳通量监测体系^[28]。技术手段有限,传统海洋碳汇监测手段依赖船载观测和浮标网络,存在覆盖范围有限、实时性不足等问题。

三是海洋碳汇项目泄漏量难以测度。方法学明确提出,由于碳汇项目的潜在泄漏风险应当公示。研究指出,海洋碳汇项目存在着多重泄漏风险,加大了碳汇核查与监督的难度。一是由于自然和人为破坏,导致原本碳汇项目效率下降导致的逆转风险,二是自身开发利用过程中对周边环境的潜在溢出风险,三是饵料投放导致富营养化以及海洋污染、红树林围垦造成树木砍伐和土壤扰动等管理误导风险。

除此之外,海洋碳汇长期缺乏项目投资,海洋碳汇资源向资本转化升值的进程缓慢,现实中常常表现为:一是资金参与度低且渠道单一。社会资金介入深度有限,市场化投融资机制尚未形成,资金主要依赖政府财政拨款。二是项目开发规模小且落地慢。海洋碳汇项目多处于零散试点状态,规模化、市场化开发不足,如红树林、盐沼等资源的固碳价值未得到充分挖掘。三是金融产品创新不足。金融市场以单纯碳权交易为主,缺乏针对海洋碳汇的多样化产品,如蓝碳指数、期货、

专项基金等开发滞后,无法满足投资者多元化需求。

四、海洋碳汇市场的构建逻辑

海洋碳汇市场的构建是一项长期复杂的系统性工程。本研究梳理了国内外针对海洋碳汇的研究以及与碳汇交易的相关政策文件,我们提出“海洋碳汇项目-海洋碳汇方法学-海洋碳汇核证-海洋碳汇交易”逻辑框架。本质上,这一逻辑框架并非完全基于科学研究,而是基于已有的制度性文本。确切地说,是基于《巴黎协定》第 6.4 条的规定。

(一)海洋碳汇项目开发

正如前文反复强调,基于自然系统或状态的碳汇没有凝结人的劳动价值,也就无法实现生态资源向产品或服务的转化。因此,通过人为的保护利用等行为形成额外的正环境外部性才能得到市场认可。参考刘大海等(2024)研究^[29],针对海洋碳汇项目开发或者说人工碳汇,根据其增汇类型大体分为三种(表 3)。

一是滨海型,主要以红树林、海草床、盐沼池等滨海生态系统为代表,其特点是通过生物物质和沉积物的长期固存实现碳汇效应,在垂直和水平方向上均有体现。垂直层面包括生物-大气系统碳交换和土壤-大气界面碳交换,前者通过光合作用较长时间地将大气二氧化碳封存在木质生物量和土壤中,后者借助潮汐作用,使得土壤长期保持湿润或淹没状态,抑制微生物的分解速度。横向层面主要是利用海浪、潮汐以及自身生态体系高效捕捉来自内部和外部河流和海洋来源的沉积物和相关有机碳。但近年来,人类活动导致近岸碳汇减少,海岸富营养化、填海造陆、海岸工程及海岸城市化严重,这意味着必须以陆海统筹视角进行海洋碳汇资源的保护与利用。

二是近海浅海型,主要以海水养殖、鱼类、藻类和贝类等多层次立体化养殖为代表。这类项目主要发挥浮游动植物的高效固碳以及同微生物相互作用的长期沉降作用。值得注意的是,国内学者多聚焦这一领域,围绕固碳效率和机理展开持久研究,但现实并非易事。其碳储量时常因温度、湿度、酸度而反复变化,难以测度。例如,藻类生物的碳汇功能包括养殖活动中产生的颗粒物、沉积碳库、溶解碳库等。滤食性贝类碳汇效应往往与养殖密度、季节性气候、钙化过程、呼吸排泄等密切相关。针对近年来涌现的增殖放流、人工渔礁、捕捞渔业的碳汇计算也尚未形成行业标准。

三是深海远海型,主要包含以下项目:大型藻类养殖环境综合,海水缺氧酸化环境协同,沉积物耦合,开阔大洋碱性矿物,远洋航运碱化,海上平台碱化,处理废水碱化入海,海水养殖环境碱化,海洋铝施肥,人工上升流,深海 CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage)等。

(二)海洋碳汇方法学研究

依据自愿减排市场方法学编制原则,结合海洋碳汇方法学编制的卡点堵点,总结未来亟待突破和解决的几大障碍。

一是加强“陆-海-气”协同发展的多学科基础交叉研究。任何的自愿减排项目都应以减缓大气碳含量作为工作的出发点和落脚点,由于近岸海域红树林等滨海生态系统以及鱼藻类海洋动植物的碳汇作用涉及到多介质交换,必须多学科跨领域联合研究,才能清晰认知海洋碳汇对维系生态平衡、减缓气候变化的基本原理与驱动要素。针对陆-海-气气体交换,明确近岸海口碳通量及迁移趋势,全面系统感知河口碳-源长序列演化格局是基础工作和重点任务,特别是近年来生活和工业用水导致的磷、氮等营养物质过度排放,导致海水加速富营养化,对海洋碳循环产生不利影响。针对海-气界面的相关研究,应当厘清海洋有机气溶胶与海-气系统相互作用的关键过程与机制,重点包括:多尺度要素影响下海洋气溶胶、颗粒物与挥发性有机物的物理模型,典型海域下气溶胶分子变化特征数据集,完善海洋有机物关键生成和演化过程,深入研究海洋-大气生物标

志物的性质和化学组成。

表 3 主要海洋碳汇开发项目

碳汇类型	主要项目
滨海型	红树林造林、再造林(水文连通与生境改善),盐沼植被修复、促淤与埋藏,海草床植被修复、沉积物增汇(生态功能协同增效),海藻场种植、藻礁生境构建(固碳效能提升),淤泥质海滩促淤和埋藏(沉积物改良)
近海浅海型	河口—近海营养盐管理,多营养层次综合养殖,深水生态养殖,养殖与增殖协同,浮游植物,增殖贝类,增殖藻类与人工上礁附着藻类,增殖上类与棘皮动物
深海远海型	大型藻类养殖环境综合,海水缺氧酸化环境协同,沉积物耦合,开阔大洋碱性矿物,远洋航运碱化,海上平台碱化,处理废水碱化入海,海水养殖环境碱化,海洋铝施肥,人工上升流,深海 CCUS

二是推动深远海负排放和海洋遥感技术研发。方法学中,核算、监察与审查等关键环节需要对碳汇过程、参数有详细严格的要求,而海洋碳汇过程的复杂性和不确定性制约了设计和审定温室气体自愿减排项目,亟待围绕探测监察技术有所突破。研究表明,红树林、海草床、珊瑚礁为代表的近岸海域碳汇量偏低,并且在沿海过度开发、海域污染加剧的背景下脆弱性加剧^[30]。相较之下,微型生物、深远海养殖生态系统碳汇效应更加明显,围绕开阔深远海域做大做强碳汇系统大有可为。现实来看,我国也取得了积极成效,率先提出了“三泵集成”理论。近年来牵头成立了海洋负排放大科学计划,得到联合国海洋委员会及海洋十年委员会的一致认可,未来应当在海水碱化增汇、人工上升流等关键核心技术持续攻关突破。此外,构建高精度全方位的海洋碳汇遥感系统对于确定项目边界、碳汇核查与监测至关重要^[31]。尽管目前已建立海洋水色、动力和监视三位一体的海洋遥感体系,但整体原创性水平不高,其感知系统仍受温度、湿度、潮汐能等外界环境的长期影响,关键参数、过程及水声研究依然空白。未来海洋水色卫星应加强谱段探测、降低谱段带宽,补充极区海冰、冻土探测等关键领域研究。

三是推动海洋修复、深海 CCUS、海洋大模型等新兴和未来产业发展。方法学中对项目泄漏与逆转风险提出了严格要求,潜在的自然风险使得海洋碳汇项目难以形成稳定可观的价格预期,而海洋修复等大型工程不仅有效改善海洋生态健康、减少人为破坏,也是避免碳汇项目逆转和泄漏的有力手段。针对陆海统筹视角下的海洋修复,应当聚焦淡水/海水锋面生物地球化学过程,开展典型河口示范性研究。海洋 CCUS 借助化学吸收、物理吸附等过程,将工业排放源或其他来源的二氧化碳进行捕获并压缩,通过管道、船舶等运输方式将压缩后的二氧化碳运输到海上,将二氧化碳注入海底咸水层、枯竭油气藏或海底玄武岩等永久封存。未来将集中开发新型吸收剂和吸附材料,探索新的地质封存地点(如深层海洋沉积物)以提高二氧化碳的捕获效率、封存安全性和稳定性。

(三)海洋碳汇项目核证与交易

可交易的海洋碳汇必须满足可溯源、可监测且有一定的生态服务价值。海洋碳汇的成功交易必须以准确公正的碳汇评估为基础,并且建立完整的核算、监测、反馈与报告等一系列体系,旨在确保海洋碳汇的真实性、唯一性和额外性。针对海洋碳汇的核算体系仍在探索,尽管自然资源部出台了《养殖大型藻类和双壳贝类碳汇计量方法—碳储量变化法》,但未获得国际社会认可,相信随着数字技术的广泛应用,特别是遥感卫星、云计算等技术的不断发展,碳汇核算更加成熟精确。其次,碳汇监测也是交易中的关键一环,需要弄清交易项目的蓝碳固碳量、碳汇新增量及生态系统生物量变化等。建立“空—天—海”一体化监测网络,整合卫星遥感、无人机巡查与原位传感器数据,实现碳汇通量的实时动态监测,鼓励第三方认证机构运用区块链技术,对监测数据进行全程存证,确保碳汇数据的不可篡改性及可追溯性,降低核查争议风险。

当然,碳汇市场的构建需要社会各主体的积极参与(见图1)。海洋碳汇交易做大做强,需要金融市场的高度支撑与深度匹配。随着海洋碳汇资源资本化进程的加速,其资本属性得以显现,通过金融市场的支撑和创新,将促进更多资本投入海洋碳汇领域,激发市场活力。例如联合国倡导的责任投资(Responsible Investment)、ESG理念下的绿色基金、绿色债券和绿色信贷等能够为碳汇项目的设立与运营提供长期稳定的资金来源,绿色保险为应对风险冲击、项目保值增值提供了重要保障。此外,碳排放巨大的外部性决定了政府必须参与碳交易市场。政府部门不仅是制度设计者和制度供给者,还要为碳汇市场建设提供基础设施。对海洋碳汇而言,政府部门应当负责海洋碳汇市场的整体布局与战略部署,在试点市场为碳汇开发者提供资金、技术与政策扶持,特别是在碳汇核算与监督领域加大基础研究 with 科研创新,对资源丰富、条件成熟的地区进行大胆试点,并引导碳汇市场从区域到整体的有序过渡,倡导国际上广泛采用的责任投资原则(Principles for Responsible Investment, PRI),引导和鼓励责任投资,以政府引导基金的方式设立海洋产业基金和海洋碳汇基金,保证海洋碳汇项目的启动和海洋碳汇的公允定价。最后,作为碳金融市场的重要组成部分,政府还要根据相关法律法规,对海洋碳汇市场进行监管,确保市场规范运行。再者,应建立自愿减排社会化激励机制,不仅鼓励企业、机构和社团参与自愿减排市场,也激励特定身份公民(如高消费者、公务员和社会工作者等)参与自愿减排交易。

五、结论与政策建议

党的二十届四中全会明确提出加快温室气体自愿减排交易市场建设,习近平总书记也宣布了新一轮国家自主贡献,这不仅彰显了中国在全球气候变化议程中的重大责任与使命担当,也昭示着以海洋碳汇为代表的自主减排项目开发利用的紧迫性,特别是中央财经委第六次会议明确提出探索开展海洋碳汇核算,为海洋碳汇交易统一大市场建设提供前所未有的机遇。本文详细梳理了碳汇的基本概念与范畴,强调了基于自然解决方案的“可信用化碳汇”概念,基于此回顾了国内外自愿减排议程与市场构建,结合海洋碳汇文献综述研究的侧重点及不足,阐释自愿减排机制下海洋碳汇的本质与海洋碳汇市场构建逻辑,提出以下结论。

第一,方法学缺失以及蓝碳项目投资热情不足是制约海洋碳汇市场发展的根本原因。当前国内海洋碳汇交易仅仅表现出以碳汇保险、碳汇票为代表的零散化尝试,并未纳入自愿减排交易市场,根本原因在于缺乏高诚信度、可核查可监测的方法学,也欠缺以滨海湿地保护、盐沼修复为代表的蓝碳投资项目,两者成为了海洋碳汇资源向资本转化增值的制约因素。

第二,国内研究过度侧重以碳汇机理与效率测度的海洋碳汇自然科学研究,忽视了经济学视角下可交易碳汇内涵、要素与机制设计。《联合国气候变化框架公约》及《京都议定书》均以人为经济活动、机制和载体作为政策设计和执行的出发点与落脚点,而国内研究侧重于海洋自然碳汇的

过程、机制与核算效率研究,偏离了海洋碳汇概念初衷,也背离了基于自然碳移除的信用化减排的逻辑路线。

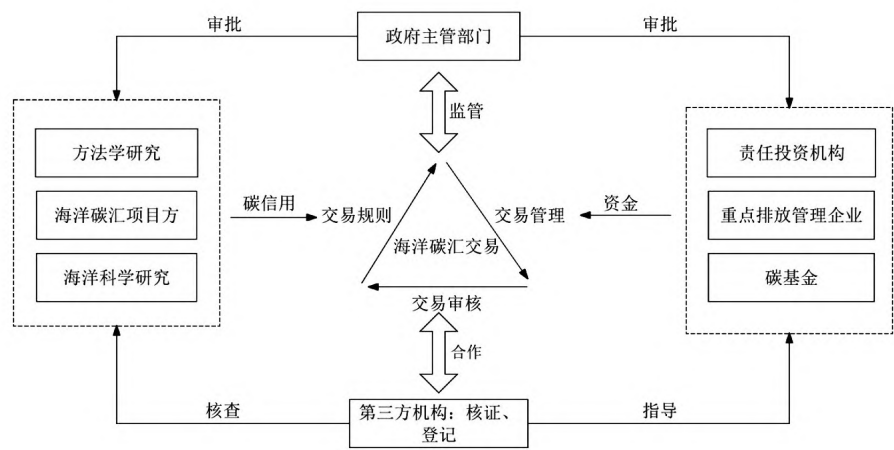


图 1 海洋碳汇市场构建逻辑图

第三,从《京都议定书》到《巴黎协定》,国际公约的制度设计和制度约束决定了海洋碳汇市场的逻辑。在“海洋碳汇项目-海洋碳汇方法学-海洋碳汇核证-海洋碳汇交易”逻辑框架下,推动蓝碳资源资本化进程和构建海洋碳汇交易统一大市场,应当首先识别具备固碳潜力的海洋区域,设计具体的蓝碳增汇项目,将海洋固碳潜力转化为具体可交易产品的基础环节。其次,制定标准化的技术规范形成统一的方法学,确保海洋碳汇量可测量、可报告、可核查的核心技术依据。再次,由具备资质的第三方机构,依据已批准的方法学,对项目的设计文件、监测数据进行审核,确认其碳汇量的真实性和准确性。最后,通过在核证减排市场进行挂牌交易、协议转让以及资产金融化等,实现海洋碳汇生态价值转化。

基于此,本文提出如下建议。

首先,海洋碳汇市场研究应遵循《巴黎协定》第 6.4 条的逻辑框架与制度规范。当前海洋碳汇方法学与减排项目的研究并不适用于国际主流减排市场,未来应当遵守《巴黎协定》第 6.4 规定,积极参与 VCS 等国际蓝碳标准组织的规则制定,与东南亚、非洲等蓝碳资源丰富地区开展标准合作,推动我国自主方法学与国际主流标准的互认衔接。进一步规范海洋碳汇项目开发设计、核算、审查等关键环节,进而主动融入全球统一碳市场,力争更大减排权和发展权。

其次,加强对海洋碳汇方法学研究,构建标准化、多层次的方法学体系,夯实市场交易基础。由国家发展改革委、自然资源部等跨部门机构牵头,联合科研院所制定统一的《海洋碳汇方法学总纲》,明确红树林、盐沼、海草床等主流生态系统的碳汇核算基线、监测周期与计量模型。建立“空-天-海”一体化监测网络,整合卫星遥感、无人机巡查与原位传感器数据,实现碳汇通量的实时动态监测。依托粤港澳大湾区、浙江舟山等蓝碳试点区域,开展方法学应用试验。

最后,构建和完善绿色金融体系,倡导责任投资原则和金融机构 ESG 理念,鼓励社会资本投资海洋碳汇项目。创新政策与金融工具,激活市场投资活力。沿海省份应结合海洋强国战略实施,以政府引导基金的方式,设立各种海洋产业基金和海洋碳汇发展基金,支持沿海省份开展蓝碳生态补偿试点。鼓励发行蓝碳主题债券、绿色资产支持证券(ABS),吸引保险、社保等长期资金入市。开发“蓝碳指数保险”产品,针对台风、赤潮等自然灾害导致的碳汇量损失提供赔付,增强投资安全

性。

[参 考 文 献]

- [1]魏震昊.低碳试点城市绿色全要素生产率研究:测度、收敛性与空间演化[J].潍坊学院学报,2024,24(6):32-44.
- [2]李春玉,安博文,李宝新,等.中国碳排放的时空非均衡特征与收敛机制[J].财经理论研究,2024(1):51-64.
- [3]陈小龙,狄乾斌,侯智文,等.海洋碳汇研究进展及展望[J].资源科学,2023,45(8):1619-1633.
- [4]李建平.中国蓝碳蓝皮书(2024)[M].青岛:中国海洋大学出版社,2024.
- [5]杨璐,张成科,庄媛,等.考虑政府参与低碳供应链的不确定微分博弈研究[J].财经理论研究,2024(3):1-9.
- [6]London Stock Exchange Group (LSEG). Carbon Market Year in Review 2023: Growth Amid Controversy [M]. London: Cambridge University Press, 2024.
- [7]Stern N H. The Economics of Climate Change: The Stern Review [M]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [8]威廉·诺德豪斯.气候赌场[M].北京:中国出版社,2019.
- [9]孙国茂,魏震昊.海洋碳汇对实现碳中和目标的作用与意义——一个与海洋碳汇理论框架相关研究的文献综述[J].中国海洋经济,2022,7(2):101-128.
- [10]STERN N. The economics of climate change[J]. American Economic Review, 2008, 98(2): 1-37.
- [11]MACREADIE, Peter I. The future of Blue Carbon Science[J]. Nature communications, 2019, 10(1): 1-13.
- [12]Rogers, Kerrylee, Jeffrey J, et al. The present, past and future of blue carbon [M]. London: Cambridge University Press, 2023.
- [13]焦念志.研发海洋“负排放”技术 支撑国家“碳中和”需求[J].中国科学院院刊,2021,36(2):179-187.
- [14]焦念志.蓝碳行动在中国[M].北京:科学出版社,2018.
- [15]赵云,乔岳,张立伟.海洋碳汇发展机制与交易模式探索[J].中国科学院院刊,2021,36(3):288-295.
- [16]曹港程,沈金生.海洋牧场碳汇资源生态补偿标准[J].自然资源学报,2022,37(12):3153-3166.
- [17]徐敬俊,张洁,余翠花.海洋碳汇渔业绿色发展空间外溢效应评价研究[J].中国人口·资源与环境,2020,30(2):99-110.
- [18]张永雨,张继红,梁彦韬,等.中国近海养殖环境碳汇形成过程与机制[J].中国科学:地球科学,2017,47(12):1414-1424.
- [19]林海英,夏杰,林海华,等.数字经济对碳排放的影响——基于科技创新效率的门槛效应[J].财经理论研究,2024(5):41-50.
- [20]宋金明,曲宝晓,李学刚,等.海洋碳汇观测与评估的现状与思考[J].海洋科学进展,2023,41(4):577-592.
- [21]魏震昊,孙国茂,姚中杰.自愿减排机制下海洋碳汇交易的双重效益与影响因素[J].中国人口·资源与环境,2024,34(4):48-59.
- [22]Carruthers, Tim J B. Identifying and filling critical knowledge gaps can optimize financial viability of blue carbon projects in tidal wetlands[J]. Frontiers in Environmental Science, 2024, 12: 1-16.
- [23]王法明,唐剑武,叶思源,等.中国滨海湿地的蓝色碳汇功能及碳中和对策[J].中国科学院院刊,2021,36(3):241-251.
- [24]杨桂朋.海洋温室气体研究进展[J].海洋环境科学,2023,42(1):1-3.
- [25]胡伟,王亚杰,段沛敏,等.海洋大气气溶胶中生物标志物研究进展[J].地球与环境,2024,52(2):230-243.
- [26]杨桂朋,张洪海.海洋中生源活性气体的来源与迁移转化[J].海洋学报,2018,40(10):14-21.
- [27]郑鹏,赵丽男,刘永权,等.海洋碳汇渔业低碳绩效测度与时空差异性分析[J].海洋环境科学,2024,43(1):57-63.
- [28]张智,王飞鹏,李荣茂,等.鱼类在海洋碳循环中的作用及研究展望[J].应用海洋学学报,2024,43(2):371-383.
- [29]刘大海,董通,刘超,等.海洋碳汇分类方法框架探索与构建[J].海洋科学进展,2024,42(2):358-369.
- [30]焦念志,骆庭伟,刘纪化,等.海洋负排放——基于地球系统科学思维的海洋科技变革[J].中国科学院院刊,2023,38(9):1294-1305.

[31]蒋兴伟,何贤强,林明森,等.中国海洋卫星遥感应用进展[J].海洋学报,2019,41(10):113-124.

The Essence and Market Construction Logic of Marine Carbon Sequestration under the Voluntary Emission Reduction Mechanism

SUN Guomao¹, WEI Zhenhao², CUI Yuchen³

(1. Shandong Technology and Business University, Yantai 264005, China; 2. Tianjin Academy of Social Sciences, Tianjin 300191, China; 3. Monash University, Melbourne 3800, Australia)

Abstract: This paper reviews and sorts out the relevant systems and market construction of the voluntary emission reduction agenda, addresses the existing problems in marine carbon sequestration research, explains the essential differences between carbon sequestration under the natural carbon balance state and carbon sequestration generated by human economic activities, as well as the essence of marine carbon sequestration under the voluntary emission reduction mechanism, and innovatively proposes the concept of “creditable carbon sequestration”. This paper believes that marine carbon sequestration refers to all economic activities aimed at carbon removal conducted by humans based on natural solutions related to the ocean. The lack of methodologies and insufficient investment enthusiasm for blue carbon projects are the fundamental reasons restricting the development of the marine carbon sequestration market. Existing research has confused the differences between natural carbon sequestration and anthropogenic carbon sequestration, focusing on natural science research on marine carbon sequestration mechanisms and efficiency measurement, while ignoring the connotation, elements, and mechanism design of tradable carbon sequestration from an economic perspective. Therefore, the construction of the marine carbon sequestration market based on Article 6.4 of the Paris Agreement should follow the logical framework of “marine carbon sequestration projects-marine carbon sequestration methodologies-marine carbon sequestration verification-marine carbon sequestration trading”.

Key words: creditable carbon sequestration; marine carbon; marine carbon trading; Kyoto Protocol; Paris Agreement

[责任编辑:刘 炜]