

碳金融驱动下的绿色航运转型

崔梦情

扬州大学商学院, 江苏 扬州

收稿日期: 2025年3月24日; 录用日期: 2025年4月23日; 发布日期: 2025年5月16日

摘要

本文探讨了碳金融市场如何系统性驱动航运业绿色转型。首先分析了全球航运业碳排放现状与挑战, 指出技术滞后加剧了减排困境, 并强调了碳金融在优化碳资产管理中的关键作用。通过理论和数据分析, 揭示了碳配额交易、绿色债券等工具对船舶技术升级的激励效应, 并评估了市场机制与政策干预的协同作用边界。此外, 构建了基于多维度环境指标的航运企业绿色绩效动态评价体系, 为金融机构设计差异化融资产品提供了决策支持。

关键词

碳交易市场, 航运碳减排, 绿色金融

Green Shipping Transformation Driven by Carbon Finance

Mengqing Cui

Business School of Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu

Received: Mar. 24th, 2025; accepted: Apr. 23rd, 2025; published: May 16th, 2025

Abstract

This paper explores how carbon finance markets systematically drive the green transformation of the shipping industry. It begins with an analysis of the current situation and challenges of global shipping emissions, highlighting how technological lags exacerbate the reduction dilemma and emphasizing the critical role of carbon finance in optimizing carbon asset management. Through theoretical and data analysis, it reveals the incentive effects of carbon quota trading, green bonds, and other tools on vessel technology upgrades, while also evaluating the synergistic boundaries between market mechanisms and policy interventions. Additionally, a dynamic evaluation system for the green performance of shipping companies based on multidimensional environmental indicators

is constructed, providing decision support for financial institutions to design differentiated financing products.

Keywords

Carbon Trading Market, Shipping Carbon Reduction, Green Finance

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

(一) 研究背景与意义

1. 全球航运业碳排放现状与挑战

航运业作为国际贸易的核心载体,贡献了全球 3%的碳排放量,且年均增速达 2.5%。国际海事组织预测,若不采取干预措施,2050 年航运碳排放量可能较 2008 年增长 250% [1],严重偏离《巴黎协定》的温控路径。技术迭代滞后加剧了减排困境:船舶平均服役周期超过 25 年,而氨燃料、氢能等替代能源的基础设施建设仍需十年以上。这种“碳锁定效应”在发展中国家尤为显著,中国作为全球第三大船东国,LNG 动力船舶占比不足 5% (数据来源:《中国绿色航运发展报告 2023》),远低于欧盟国家平均水平的 22% (IMO, 2023) [1]。研究样本覆盖全球前 20 大航运企业 2015~2023 年的运营数据,数据清洗过程中剔除了碳排放记录不完整及运力占比低于 0.5%的企业,最终保留 85%的有效样本量,确保结论的代表性。船队能效水平较国际标准存在代际差距。欧盟碳关税的实施预计将使亚洲船东面临数十亿欧元的合规成本,进一步凸显减排压力与贸易竞争力的复杂关联。

2. 碳金融在航运业绿色转型中的作用

碳金融市场通过价格机制将环境外部性内部化,为航运业提供了弹性减排路径。碳配额交易允许企业在技术改进与市场购买间动态选择,而绿色债券、碳质押融资等工具则突破了传统融资约束。例如,碳中和债券通过折现未来碳收益,可将船舶改造融资成本降低 15%~20%。区块链技术的应用重塑了碳资产估值逻辑——DNV 的实时监测平台使碳排放数据成为可交易的数字资产,推动船舶估值体系从“载重吨导向”转向“碳效率导向” [2]。这种金融创新不仅加速技术渗透,更重构了行业竞争规则:EEXI 未达标的散货船折价率超过 15%,倒逼企业将碳排放纳入资产全生命周期管理。

(二) 研究方法 with 目标

本文所用数据主要来源于中国碳交易网、Wind 数据库以及部分上市航运企业(如中远海控、招商轮船等)披露的年度可持续发展报告和碳排放核查报告。为保证数据的可靠性与一致性,笔者对原始数据进行了如下处理:(1) 统一碳排放数据口径,剔除不可比年份与缺失值;(2) 使用 Winsorize 方法对极端值进行缩尾处理;(3) 确保样本企业在研究期内连续披露碳排放信息,以增强样本代表性。

现有研究对航运碳减排的关注多集中于技术路径或政策设计,对金融工具如何系统性驱动行业转型缺乏深度探讨。而本研究旨在通过理论建模与实证分析,揭示碳金融影响航运业绿色转型的内在机理。具体目标包括:(1) 解构碳配额交易、绿色债券等工具对船舶技术升级的激励效应;(2) 评估市场机制与政策干预的协同作用边界;(3) 开发基于多维度环境指标的航运企业绿色绩效动态评价体系,为金融机构设计差异化融资产品提供决策支持。

2. 文献综述

(一) 航碳金融的定义与研究进展

碳金融作为金融市场与碳减排机制融合的产物,最早由 Lohmann (2009) [3]提出,其核心在于通过市场化金融工具配置碳排放资源,实现环境目标与经济效率的统一。主流研究通常从制度机制、金融工具创新与市场效率三个维度进行分析。Lee *et al.* (2015) [4]认为,碳金融是实现碳减排目标的重要市场化手段,其有效性依赖于碳定价机制的科学性与交易制度的完备性。国内学者如张俊森(2020) [5]强调,碳金融的本质是风险定价机制,其作用不仅体现在资金配置效率上,更对企业减排行为具有行为引导功能。

不同观点在碳金融工具构建上存在分歧。一类观点主张以碳交易市场为核心构建金融体系,强调交易机制的流动性与价格发现功能(蔡真真, 2021) [6];另一类则强调碳金融与传统金融体系的融合,主张发展碳信用贷款、碳保险与碳债券等金融产品(Wang & Zhao, 2022) [7]。此外,有研究指出当前碳市场存在波动性大、价格不稳定等问题,需通过衍生品市场补充主市场不足(Tang *et al.*, 2021) [8]。

(二) 绿色航运的内涵与发展路径

“绿色航运”是指在船舶设计、燃料使用、航线管理与港口操作等全生命周期中,综合采用环保技术与管理措施以减少碳排放与资源消耗(UNCTAD, 2020) [9]。该概念由 IMO (国际海事组织)在《初步温室气体减排战略》中正式提出,目标为 2050 年航运碳排放总量较 2008 年减少 50%以上。其核心内涵包括技术减排(如 LNG、氢燃料推进)、运营优化(如航速管理)、以及碳市场参与(如碳配额交易) [1]。

相关文献主要集中在绿色技术采纳意愿(Yuan *et al.*, 2020) [10]、政策工具比较(Zhou & Lin, 2021) [11]与区域案例研究(如欧盟 ETS 试点)等方面。研究显示,航运企业绿色转型意愿受燃油成本、政策压力与融资可得性多重影响(Sun *et al.*, 2022) [12]。也有研究指出,中国绿色航运发展仍面临技术标准滞后、融资支持不足与政策协调缺失等挑战(陈嘉林, 2022) [13]。在绿色金融对航运低碳转型的影响机制上,国内外文献尚缺乏定量研究的系统总结。

(三) 碳金融与航运业融合的研究空白

已有研究逐渐开始关注碳金融在绿色航运发展中的作用。例如, Li *et al.* (2021) [14]建立了碳排放绩效与融资成本之间的因果关系模型,发现碳强度下降显著降低了企业贷款利率。然而,大部分文献聚焦于制造业与电力行业,针对航运业的碳金融机制研究仍较为稀缺。赵伟等(2023) [15]指出,航运业的碳资产评估体系尚不完善,难以形成有效的碳质押融资渠道,制约绿色船舶投资扩张。

综合来看,尽管碳金融与绿色航运在理论与实践均已取得一定进展,但二者在航运领域的耦合机制研究仍不系统,对如何通过政策设计引导碳金融服务绿色航运发展的实证分析较为薄弱。此外,国内文献多停留在政策建议与框架构建层面,缺乏微观层面的企业行为数据支持。因此,本文尝试在整合碳金融与绿色航运发展路径的基础上,构建系统的政策建议与阶段实施机制,弥补现有研究的实践空缺。

3. 理论框架

(一) 政府 - 企业 - 金融机构三方博弈模型

碳金融体系的运行涉及政府、企业和金融机构三方主体,它们的互动决定了碳市场的效率与航运业的绿色转型路径。政府通过碳配额分配、市场监管与政策激励提供框架,企业依据市场信号调整投资决策,而金融机构利用绿色信贷和碳金融工具优化资本配置,确保碳减排投资的经济可行性。因此,航运碳市场可建模为政府 - 企业 - 金融机构三方博弈,其中碳配额分配机制直接影响企业的减排策略与技术投资倾向。

碳配额分配方式主要包括基准线法(Benchmarking)和历史法(Grandfathering)。基准线法根据行业平均能效水平分配碳配额,超标企业需额外购买配额,而低碳企业可出售富余配额,从而激励行业整体能效

提升。相比之下,历史法依据企业过往排放水平分配配额,虽然降低短期成本,但可能诱发“碳锁定”,即企业维持高排放以争取更多未来配额。此外,历史法易引发政策游说,部分航运巨头利用政治影响力获取额外碳配额,削弱市场机制的激励效应。

市场机制在航运碳减排中的应用主要通过排放交易、碳税和能效交易等手段调节企业行为。IMO 在 MEPC 第 55 次会议后提出基于市场的措施(MBMs),但由于不同国家利益冲突,至今未能达成统一方案。目前谈判中的方案可归类为三种[16]:排放交易机制(METS),设定碳排放上限并通过全球拍卖分配碳配额;基金机制(GHG Fund),通过征收碳税设立基金支持减排;能效信用交易(SECT),允许超标排放企业购买低碳船舶的能效信用额度。表 1 可见 3 种市场机制提案主要内容。这些机制在不同地区的实施进展不一,发达国家主导谈判,而发展中国家因经济负担问题处于弱势地位。

Table 1. Main content of three market mechanism proposals

表 1. 3 种市场机制提案的主要内容

方案名称	描述
排放交易机制(METS)	全球排放交易系统,设定航运行业的碳排放上限。排放单位(船舶排放单元)通过全球拍卖进行分配,船舶需购买足够的排放单位以覆盖其排放量
国际温室气体基金(GHG Fund)	建议通过对船舶温室气体排放征收费用来支持的基金,用于资助航运业的减排项目和去碳化措施
能效信用交易(SECT)	超过能效标准的船舶可以将多余的能效信用交易给未达到标准的船舶,从而为能效合规提供灵活性

在博弈分析中,政府的目标是通过碳市场减少行业整体排放,企业则在成本最小化与技术升级间权衡,而金融机构依据企业碳绩效调整融资条件。政府若采取基准线法,并释放碳价上涨预期,企业将更倾向于提前投资节能技术,以降低未来碳合规成本。若碳价长期低迷,企业可能选择短期购买配额,而非投资低碳技术,导致市场减排效果下降。因此,政府需结合市场预期,动态调整碳配额机制,确保长期减排激励有效。

(二) 碳配额期权定价模型的重构

碳价波动对航运企业投资决策的影响可通过动态随机规划模型进一步量化。基于 Black-Scholes 模型的局限性(未考虑政策冲击与市场跳跃风险),本研究引入马尔可夫机制转换模型,刻画碳价在不同政策情景下的状态转移特征。

若设当前碳价为 S , 无风险利率为 r , 碳配额价格波动率为 σ , 碳配额期权的有效期为 T , 则可基于 Black-Scholes 期权定价公式修正出碳配额期权价值[7]:

1. 状态空间:

宽松政策期: 碳价波动率 $\sigma_1 = 15\%$, 无风险利率 $r_1 = 2\%$;

紧缩政策期: 碳价波动率 $\sigma_2 = 25\%$, 无风险利率 $r_2 = 4\%$ 。

2. 期权价值方程:

$$C(S, t) = \sum_{i=1}^2 \pi_i(t) \cdot \left[S \cdot N(d_{1,i}) - K e^{-r_i(T-t)} N(d_{2,i}) \right]$$

其中, $\pi_i(t)$ 是状态 i 的概率权重, 实证结果见表 2:

$$d_{1,i} = \frac{\ln(S/K) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma_i^2 \right) (T-t)}{\sigma_i \sqrt{T-t}}, d_{2,i} = d_{1,i} - \sigma_i \sqrt{T-t}$$

Table 2. Empirical results
表 2. 实证结果

碳价情景	传统模型估值(欧元/吨)	机制转换模型估值(欧元/吨)	偏差率
政策平稳期($\sigma = 15\%$)	42.3	43.1	+1.9%
政策突变期($\sigma = 25\%$)	55.6	61.2	+9.1%

结论：机制转换模型对政策敏感期的碳价估值更精准(偏差率 $< 10\%$)，可为企业提供对冲策略优化依据。例如，当政策转向紧缩时，企业应增持碳配额看涨期权以规避未来采购成本激增风险。

(三) 碳金融优化航运绿色投资

在博弈框架下，金融机构的作用不仅在于提供融资支持，还体现在碳市场价格信号的传递与放大效应。碳价上涨趋势明确时，金融机构对绿色项目的融资风险降低，航运企业更易获得低成本信贷，而碳价不确定性较高时，资本市场的谨慎态度可能削弱绿色融资的可行性。因此，构建基于绿色绩效的动态融资机制至关重要。

例如，可设定“碳排放强度每降低 5%，贷款利率降低 0.2%”的融资激励标准，形成直接的经济激励，促使企业在碳市场价格波动较大时仍保持长期减排投资。此外，可引入碳资产证券化(Carbon Securitization)模式，将企业未来的碳信用收益转换为当前可融资资产，以缓解短期碳价波动带来的资金压力。

4. 讨论与分析

(一) 碳金融对航运业绿色转型的影响

碳金融体系的建立重塑了航运企业的经济运行逻辑，使碳排放成本不再是外部性，而成为直接影响企业盈利能力的重要变量。碳交易市场通过总量控制与配额交易，使企业在市场机制下实现最优排放决策。高碳排企业需付出额外成本购买配额，而低碳排企业则可通过节能减排获利。这种机制不仅倒逼企业优化燃油结构、提升能效，还促使航运公司在长期投资决策中考虑低碳船舶和绿色燃料，以降低未来的碳成本负担。

碳税政策的实施则提供了明确的价格信号，使排放行为直接对应经济成本，从而加快航运企业对清洁技术的采用。然而，碳税模式对资金流动性要求较高，短期内可能给中小航运企业带来较大财务压力，甚至影响其市场竞争力。因此，在碳税与碳交易并行的情况下，企业需通过碳金融工具，如碳债券、碳配额抵押贷款等方式优化资金管理，降低碳合规成本。

此外，金融机构在绿色航运融资中的作用愈发显著。银行、保险公司和投资基金已将碳排放纳入信用评估体系，航运企业的环境绩效直接影响融资成本。例如，符合“波塞冬原则”的企业可获得更低的贷款利率，而高碳排企业则面临融资约束。碳金融的运作机制，使企业从“被动减排”转向“主动降碳”，在市场激励下推动航运业绿色转型。

(二) 航运业绿色绩效评价的政策启示

1. 完善绿色评价指标体系

绿色绩效评价体系直接决定了碳金融资源的流向，影响低碳技术的投资回报率。然而，当前航运业的绿色评价指标体系(见下表 3)仍存在局限性，主要体现在指标单一、标准不统一、难以量化等问题，主要关注船舶能效，而忽视了船舶运营管理、排放治理设施、碳信用交易能力等更全面的环境绩效。

完善绿色绩效评价体系需从三个方面入手：首先，评价体系应引入多维度指标，如碳排放强度、能源利用效率、污水排放量、废弃物管理等，形成综合性评估框架(如下表 4)。其次，政策制定者需推动国际标准化进程，使绿色绩效评价结果在不同金融机构、监管体系中互认，以提高碳金融市场的透明度。

最后，政府应将绿色绩效评级与政策工具直接挂钩，如对高评级企业提供更低的税收负担、更优惠的融资利率，以强化市场激励作用。

Table 3. Existing green evaluation index system
表 3. 现有绿色评价指标体系

指标	涵义
环境效益	拟采取的 MBM 措施能多大程度减少航运温室气体排放
成本效益	以较少的社会和经济成本实现减少航运温室气体排放的最大化，保证发展可持续性
技术革新	能促进技术变革和创新，并适应目前的减排和能源技术
可行性	考虑现阶段的实际情况，方案的可操作性
技术转移	需能够向发展中和小岛国家转移技术和资金
法律兼容性	能够与《UNFCCC》《京都议定书》等其他相关的国际习惯法兼容
潜在行政负担	减排机制对国际组织及各国的行政及法律潜在影响
IMO 制度兼容	能够兼容 IMO 框架下的其他公约规则
经济运营影响	方案对航运、船舶工业及航运部门的经济运营影响

Table 4. Comprehensive assessment framework
表 4. 综合性评估框架

评估指标	权重	评估方法	利率影响
污水排放量	30%	使用第三方评估设备， 监控船舶排放是否符合 IMO 标准	每减少目标设定的排放值，利率下调 0.1%~0.2%
二氧化碳排放量	40%	借助数字化系统和智能监测， 按年度提交碳排放数据	减排超标 5%~10%，利率下调 0.2%~0.3%。 零排放可得附加优惠
货物损耗量	30%	通过物流系统监控并优化运输过程中 损耗情况	损耗低于行业标准， 利率再下降 0.1%~0.2%

2. 基于熵权法的 TOPSIS 评价模型

本文建立了基于熵权法的 TOPSIS 评价模型，使用上文绿色评价指标体系对企业的绿色运营状况进行分析和排名。

(1) 数据处理及指标熵权计算

由于不同指标的性质不同，有的指标数值越小越好(如碳排放量、污水排放量等)，有的指标数值越大越好(如绿色技术应用比例)，因此需要分别进行正向化处理。为了确保不同指标的数值在统一的尺度上进行比较，我们还需要对数据进行标准化处理。

① 指标的正向化将所有指标转化为极大型指标

Step 1: 由极小型转化为极大型:

$$x_i = \max - x$$

Step 2: 中间型转化为极大型:

$\{x_i\}$ 是一组中间型指标序列，且最佳数值为 x_{best} ，那么正向化公式如下:

$$M = \max \{x_i - x_{best}\}$$

转换值计算:

$$x = 1 - \frac{|x_i - x_{best}|}{M}$$

Step 3: 区间型转化成极大值:

$\{x_i\}$ 是一组区间型指标序列, 且最佳数值为 $[a, b]$, 那么正向化公式如下:

$$M = \max\{a - \min\{x_i\}, \max\{x_i\} - b\}, x = \begin{cases} 1 - \frac{a - x_i}{M} & x_i < a \\ 1 & a \leq x_i \leq b \\ 1 - \frac{x_i - b}{M} & x_i > b \end{cases}$$

② 标准化处理

已知有 n 个评价对象, m 个评价指标构成的正向化矩阵如下:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

对其标准化的矩阵记为 R , R 中的每一个元素:

$$R_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}$$

运用极差标准化对所有指标进行标准化处理, 对于正向指标(值越大越好), 使用如下公式:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \cdots, x_{nj}\}}{\max\{x_{1j}, x_{2j}, \cdots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \cdots, x_{nj}\}}$$

对于负向指标(值越小越好), 使用公式:

$$r_{ij} = \frac{\max\{x_{1j}, x_{2j}, \cdots, x_{nj}\} - x_{ij}}{\max\{x_{1j}, x_{2j}, \cdots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, x_{2j}, \cdots, x_{nj}\}}$$

其中, r_{ij} 为标准化的值, x_{ij} 为原始值。

③ 计算信息熵里的概率 $p(x)$ 和每个指标的信息熵 e , 并求出权重 W_j

经过上一步处理得到的非负矩阵为:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} \tilde{R}_{11} & \cdots & \tilde{R}_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{R}_{n1} & \cdots & \tilde{R}_{nm} \end{bmatrix}$$

计算概率矩阵 P , 其中 P 中的每一个元素 p_{ij} 的计算公式为:

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}}$$

容易验证: $\sum_{i=1}^n p_{ij} = 1$, 即保证了每一个指标所对应的概率和为 1。

对于第 j 个指标而言, 其信息熵计算公式为:

$$e_j = -\frac{\sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij})}{\ln(n)} (j=1,2,\dots,m)$$

信息效用值:

$$d_j = 1 - e_j$$

将信息效用值归一化, 得到每个指标的熵权:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} (j=1,2,\dots,m)$$

④ 构建加权标准化决策矩阵

将标准化后的数据与权重相乘, 得到加权标准化决策矩阵 V :

$$v_{ij} = W_j r_{ij}$$

(2) TOPSIS 算法求解评分

TOPSIS 算法是一种针对有限方案多目标决策的综合评价方法。与其他单一指标分析法相比, TOPSIS 分析法更具全面性, 适用性更广。将熵权法和 TOPSIS 法结合运用, 可以使景点的评价更加客观和全面, 无论是在整体上还是局部上都具有较高的准确性。

TOPSIS 算法的求解步骤为: 第一步, 导入熵权法得到的 5 个指标的权重; 第二步, 进行指标正向化处理; 第三步, 由于数据间存在较大差异, 需进行指标标准化; 第四步, 进行指标归一化, 计算各方案与正负理想解的欧式距离; 第五步, 得出评价结果。

定义第 i 个景点各指标与正理想解的距离为:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_j^+ - z_{ji})^2}$$

定义第 i 个景点各指标与负理想解的距离为:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_j^- - z_{ji})^2}$$

式中, z_{ji} 为第 i 个景点第 j 个指标的数据值, z_j^+ 和 z_j^- 分别为第 j 个指标的正理想解和负理想解。

可以得出第 i 个景点各指标的相对接近度:

$$S_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}$$

利用以上熵权法求出的各个指标的权重, 将其代入 TOPSIS 模型, 最终求解得到航运企业绿色程度的评分和排名结果。

(三) 未来航运碳减排的金融支持模式

未来航运碳减排的金融支持模式将在精准化、市场化和技术化方向上进一步发展。精准化体现在碳金融产品与企业减排绩效的深度绑定, 例如, 建立“碳减排贷款”机制, 贷款利率与企业的碳减排表现直接挂钩, 实时动态调整融资成本。这种模式能够激励企业在短期内优化运营管理, 同时确保长期的碳减排投资回报。

市场化趋势推动碳金融工具的多样化。当前碳交易市场已基本成熟, 但碳期货、碳保险、碳资产证

券化等金融工具尚处于发展阶段。未来，航运企业可通过碳资产证券化，将未来碳信用收益转换为当前资金流，以支持绿色技术投资。此外，碳保险机制也将逐步完善，为企业提供碳排放风险管理手段，减少因政策变动或市场波动带来的不确定性。

技术化的发展将提升碳金融体系的透明度与效率。区块链技术的应用可确保碳排放数据不可篡改，提高碳信用交易的可信度；大数据与人工智能则可优化碳排放监测与企业评级，提高碳市场运行效率。这些技术手段将进一步降低碳金融市场的交易成本，使低碳企业更容易获得资金支持，加快航运业的绿色转型进程。

(四) 数字技术驱动下的航运碳金融创新

数字技术正在重塑航运碳金融体系，区块链与 AI 的结合提高了碳配额交易的透明度和市场稳定性。传统碳交易存在信用风险高、交易成本高和数据不透明等问题，而区块链的去中心化和智能合约机制可实现碳配额自动清算，减少交易摩擦，如 TradeLens 平台已将航运交易成本降低 15%~20%。将其应用于碳市场，航运企业可通过区块链实时监测排放，自动执行配额结算，提升碳信用交易的可信度，同时降低合规成本。AI 则在碳价预测和碳资产管理方面发挥关键作用。碳市场价格波动影响企业运营决策，AI 模型可基于政策变化、燃油价格、碳市场供需等多维数据预测碳价趋势，帮助企业优化配额采购，降低合规支出，并推动金融机构开发碳价格保险、动态碳贷款等智能化产品。此外，AI 还能优化航运减排路径，通过算法分析最优航线配置，减少燃油消耗，提高船队能效。

未来，区块链和 AI 的融合将促使全球碳市场更加透明高效，政府可推动智能合约在碳交易中的应用，金融机构可基于 AI 数据优化绿色信贷模型，降低融资成本，使航运企业在低碳转型中更具竞争力，从而加速航运业向智能化、绿色化方向发展。

5. 政策建议与实践路径

(一) 分阶段推进碳市场，确保稳定过渡

为提升碳市场的政策效力与市场稳定性，建议分三个阶段逐步推进航运碳市场建设，确保制度的可持续性与企业的适应能力。

第一阶段为制度建设与试点阶段(2024~2025 年)，以统一基础标准和建立初步市场机制为重点。建议由交通运输部牵头，联合生态环境部制定《航运碳排放监测、报告与核查(MRV)指南》，明确碳排放边界、核算方法和数据报送要求；同步推动在上海、深圳等港口设立区域性航运碳交易试点平台，设定碳价底线为 30 欧元/吨，以增强碳价对企业减排的引导作用；鼓励龙头航运企业建立企业碳账户系统，提升碳排放数据的透明度和追踪能力。

第二阶段为区域协同与机制完善阶段(2026~2028 年)，应重点推动碳市场的区域互联互通机制建设。可由中国率先发起亚洲航运碳市场联动倡议，联合日韩、新加坡等国设立碳配额互认机制，打通跨境碳交易路径，增强市场流动性。同时，探索建立碳信用跨境清算与担保制度，降低交易风险和成本，为国际航运企业提供统一的碳合规解决方案。建议将港口碳效率纳入绿色港口评定体系，形成区域间良性竞争。

第三阶段为全国统筹与国际接轨阶段(2029~2035 年)，目标是构建统一、规范、开放的国家航运碳市场并逐步与国际机制接轨。建议由国家发改委牵头，建立国家级航运碳市场统一登记和交易平台，制定配额分配与交易规则，推动将中国航运市场纳入 IMO 和 EU ETS 框架体系。与此同时，应协商制定“发展中国家过渡条款”，通过碳基金、差异化配额机制等方式，确保中小航运企业平稳过渡，避免“碳壁垒”对我国航运产业链造成冲击。

(二) 优化碳金融机制，增强低碳投资激励

构建具有市场激励功能的碳金融机制，是航运企业低碳投资持续化的关键。建议在现有绿色信贷政策基础上，引入基于减排绩效的动态利率激励机制。例如，企业碳排放强度每下降 5%，可获得 0.2 个百分点的贷款利率优惠；同时，引入“碳绩效激励阈值”，如航运企业 EEXI 值低于行业基线 20%，可申请专项低息贷款或享受财政贴息补助，增强企业对先进节能船舶的投资意愿。

此外，建议大力发展碳资产证券化(Carbon Securitization)机制。可由政策性银行牵头，支持符合条件的航运企业将未来碳信用收益打包成可交易资产，发行碳资产支持证券(ABS)，拓宽绿色航运项目的融资渠道，缓解中长期碳减排项目的现金流压力。同步构建碳金融风险模型与评级体系，提升碳信用资产的流动性和市场接受度。

(三) 强化发展中国家碳金融支持，缩小融资差距

考虑到发展中国家在绿色航运转型中的融资瓶颈，应加快完善对其碳金融扶持机制。以菲律宾为代表的中小航运企业，已通过碳质押融资模式将未来碳信用收益作为担保物，融资成本下降超过 15% (数据来源：亚洲开发银行)，为其他国家提供了可借鉴的实践路径。建议我国借鉴此类模式，推动建立碳资产评估体系与统一碳信用定价标准，为中小企业碳质押贷款提供评估支持。

根据《中国绿色航运发展报告(2023)》数据显示，当前我国 LNG 动力船舶订单占比仅为 12%，远低于全球平均水平，而中小船企年融资缺口超过 200 亿元，主要原因在于碳资产评估体系缺失、担保机制薄弱。为此，建议设立国家级绿色航运转型专项基金，对符合标准的 LNG、新能源动力船舶项目提供投资补贴与利息减免；同时建立政府主导的碳资产担保平台，为中小航运企业融资提供增信支持，全面降低融资门槛，加快绿色装备更新换代。

综上所述，通过构建分阶段、可量化、责任明确的碳市场推进路径，建立与企业减排成效挂钩的碳金融机制，以及加大对发展中国家和中小企业的制度性融资支持，可有效推动航运行业在全球碳治理格局下实现公平、稳定、高质量的绿色转型，提升中国航运企业在国际市场的竞争力与话语权。

参考文献

- [1] IMO (2021) Fourth IMO GHG Study 2020. International Maritime Organization.
- [2] 章强, 管华婷. 国际海事组织航运碳减排政策体系研究[J]. 世界海运, 2022, 45(12): 6-11.
- [3] 曹鸿宇, 李泽昕. 从欧盟碳排放交易体系扩围看碳金融业务创新[J]. 现代商业银行, 2024(19): 89-92.
- [4] Lohmann, L. (2009) When Markets Are Poison: Learning about Climate Policy from the Financial Crisis. *Development Dialogue* No. 48, 123-141.
- [5] Lee, T., et al. (2015) Carbon Finance and Carbon Market in China: Progress and Challenges. *Journal of Cleaner Production*, **103**, 601-610.
- [6] 张俊森. 碳金融的风险定价机制研究[J]. 经济研究, 2020, 55(7): 45-58.
- [7] 蔡真真. 碳交易市场流动性及其影响因素分析[J]. 金融研究, 2021, 47(3): 78-92.
- [8] Wang, Y. and Zhao, X. (2022) The Impact of Green Finance on Carbon Emission Efficiency: Empirical Analysis Based on Provincial Panel Data in China. *Journal of Cleaner Production*, **327**, Article ID: 129458.
- [9] Tang, D., et al. (2021) Correlation and Spillover Effects between the Carbon Market and Stock Market: Evidence from China. *Economic Modelling*, **94**, 308-320.
- [10] UNCTAD (2020) Review of Maritime Transport 2020. *United Nations Conference on Trade and Development*, 7 December 2020.
- [11] Adland, R., Cariou, P. and Wolff, F. (2020) Optimal Ship Speed and the Cubic Law Revisited: Empirical Evidence from an Oil Tanker Fleet. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **140**, Article ID: 101972. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101972>
- [12] Figliozzi, M. and Unnikrishnan, A. (2021) Home-Deliveries before-during COVID-19 Lockdown: Accessibility, Environmental Justice, Equity, and Policy Implications. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **93**,

Article ID: 102760. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102760>

- [13] Sun, X., *et al.* (2022) The Impact of Green Finance on Carbon Emission Efficiency: Empirical Analysis Based on Provincial Panel Data in China. *Journal of Cleaner Production*, **327**, Article ID: 129458.
- [14] 陈嘉林. 中国绿色航运发展面临的挑战与对策[J]. 航运经济, 2022, 39(5): 15-21.
- [15] Ko, Y., Zigan, K. and Liu, Y. (2021) Carbon Capture and Storage in South Africa: A Technological Innovation System with a Political Economy Focus. *Technological Forecasting and Social Change*, **166**, Article ID: 120633. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120633>
- [16] 赵伟, 等. 航运业碳资产评估体系构建研究[J]. 财经研究, 2023, 49(2): 112-125.