

基于环境责任认知差异的航运企业 绿色航运投资策略研究

吴宜峰

(大连海事大学, 辽宁 大连 116033)

摘要:为科学推动航运业绿色转型、提高航运企业环境责任意识,文章建立了一个由两家环境责任意识水平不同的航运企业组成的产量博弈模型,深入研究市场竞争过程中环境责任意识对企业绿色航运投资水平和经济效益的影响。研究表明,企业的最优绿色航运投资水平只受到投资本身的成本和收益影响,而与其他公司的投资水平和市场环境无关。当航运公司间环境责任意识差距过大或间接货运损益过低时,在企业竞争过程中,主动进行绿色航运转型的企业出于环境保护要求会出现生产性资源被过度侵占、经济效益降低从而失去竞争优势的情况,此时绿色航运转型意愿会被削弱。另外,为保证航运市场的总体效用随着绿色转型的深入而提高,需要控制绿色投资成本、提高绿色航运的投资回报率,减小企业绿色转型压力。最后,基于分析结果,建议政府颁布政策法规统一绿色航运标准、鼓励航运技术创新、推动行业协同与技术共享等以实现绿色转型持续推进。

关键词:绿色航运; 环境责任意识; 减排投资策略; 博弈理论模型

中图分类号:U-9

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.1000-4653.2025.02.018

Research on green shipping investment strategies of shipping enterprises based on differences in perceptions of environmental responsibility

WU Yifeng

(Dalian Maritime University, Dalian 116033, China)

Abstract: To promote the green transformation of the shipping industry and improve environmental responsibility awareness among shipping enterprises, this paper presents a game model with two enterprises that differ in their awareness of environmental responsibility. The model uses non-cooperative game theory to study how environmental responsibility awareness affects investment in green shipping and the economic utility of enterprises during market competition. The results of the study show that the optimal level of investment in green shipping is determined solely by the cost-benefit analysis of the investment itself, rather than by the investment levels of other companies or the market environment. When there is a large gap in environmental responsibility awareness among shipping companies or when indirect cargo profit and loss is too low, enterprises' willingness to transform to green shipping will weaken during competition, as enterprises that take the initiative to transform to green shipping will lose their competitive advantage due to excessive encroachment on productive resources and reduced economic efficiency. Furthermore, to ensure that the overall utility of the shipping market improves with the depth of green transformation, it is necessary to control the cost of green investment, improve the return on investment of green shipping and reduce the pressure on enterprises to transform to green shipping. Based on the analysis results, it is recommended that the government promulgates policies and regulations to unify green shipping standards, encourage technological innovation in shipping and promote industry synergy and technology sharing, in order to achieve continuous green transformation.

Key words: green shipping; environmental responsibility awareness; emission reduction investment strategy; game

收稿日期:2024-10-21

作者简介:吴宜峰(1997—),男,博士研究生,研究方向为海商法。E-mail: 417995067@qq.com

引用格式:吴宜峰. 基于环境责任认知差异的航运企业绿色航运投资策略研究[J]. 中国航海, 2025, 48(2): 144-150.

WU Y F. Research on green shipping investment strategies of shipping enterprises based on differences in perceptions of environmental responsibility[J]. Navigation of China, 2025, 48(2): 144-150. (in Chinese)

theoretic modelling

作为全球贸易和物流的重要组成部分,航运业在环境保护方面承担着重要责任。国际海事组织(International Maritime Organization, IMO)海上环境保护委员会第80届会议通过了《2023年IMO船舶温室气体(Greenhouse Gas, GHG)减排战略》,并提出了GHG减排新目标,但根据IMO的数据,航运公司的温室气体排放量仍在持续上升,并且预计在未来几十年内将继续增长,航运业距离IMO设定的2050减排目标仍相去甚远。

在此背景下,环境责任(Environmental Responsibility, ER)意识成为航运公司发展不可忽视的重要因素。为了平衡航运业的经济效益和社会效益,许多航运公司开始将环境因素纳入其经营决策,开展绿色航运(Green Shipping, GS),我们将其称之为航运公司的环境责任意识。具有环境责任意识的航运公司将通过投资绿色航运的方式减少污染。例如燃烧更清洁的燃料、使用排污更少的设备等。同时,航运公司也可以借此打造良好的企业形象、吸引更多托运人、提高公司经济效益。

目前,国内外对相关问题的研究可分为两类。第1类主要是对企业环境责任意识的研究,寻求兼顾企业经济效益和环保绩效的发展方式,刘鼎恒等^[1]发现企业通过履行社会责任进而促进企业绿色创新的提高,进而促进企业财务绩效的改善,其中非国有企业履行社会责任对企业财务绩效的提升更为显著。刘阳等^[2]发现当市场中所有企业的环保目标权重同时增加时,环保绩效得到明显改善,但企业经济效益的变化存在不一致现象。

第2类是对航运市场利益相关主体减排投资决策的分析,董丹丹^[3]揭示了企业环境政策不确定性感知对绿色投资的影响。芦德龙等^[4]提出,现阶段航运业绿色低碳替代能源主要以液化天然气(LNG)和绿色甲醇为主,将来将向非碳基绿色能源方向发展。刘家国等^[5]研究了在不同的绿色政策规制下航运企业减排策略转换时机的差异。桑高峰等^[6]发现政府对港区征收碳税的举措以及客户群体绿色意识的提高,都会促进港口方和船方的减排力度。李晓东等^[7]构建了地方政府、港口和航运公司三方参与的环境政策规制演化博弈模型,对三方主体的策略选择过程与整体演化稳定性进行分析。

本文旨在研究在市场竞争过程中,航运企业间不同的环境责任意识差异情况对企业减排投资策略选择的影响。现有研究主要聚焦于对航运企业单一主体或利益相关群体的分析,缺乏对不同航运企业

间博弈过程和减排策略的研究。同时,现有研究中关于环保意识和减排投资策略变化对企业经济效益和环保绩效影响的分析也很少,因此本文建立了一个产量博弈模型来确定市场竞争过程中企业的最优绿色航运投资水平和最优效用,分析促使企业转变减排投资策略的条件,揭示绿色航运投资对企业经济效益和环保绩效的影响,并就优化减排投资策略、推动绿色航运可持续发展向政府和企业提出建议。

1 环境责任差异视域下的减排投资理论模型

1.1 模型假设

假设航运市场存在两个航运公司,分别为公司I和公司E。在博弈模型中,假设公司I具有ER意识,公司E无ER意识。(这样的假设是合理的,根据PIECYK等^[8]研究,只有53%的物流供应商在其网站上提到可持续发展,其中约13%的物流供应商每年发布可持续发展报告;当然,一些市场中也可能存在都无ER意识或者具有相似水平的ER意识的差异情况,因此同一市场中ER意识差异较小的两种情况也会纳入讨论范围。)参考彭雪蓉等^[9]研究,企业的环境责任意识可以通过七点量表进行评估,因此在实证研究上具有可行性。

由于公司I具有环境责任意识,会相应地进行绿色航运投资,因此公司I的货运业务会有更低的环境成本、更大的市场规模(绿色航运转型会开发新的客户、拓宽航运业市场)并需要额外承担的绿色投资成本(例如更换新设备的成本);而公司E由于无ER意识,所以没有绿色航运转型带来的相关收益和成本。在航运业转型升级的大背景下,进行绿色航运投资会享有如政策补贴、碳排放交易市场收益等直接业务利润外的间接收益,与此同时逆绿色航运转型发展趋势、不进行减排投资也需要承担环保罚款、航线无法经过排污控制区导致的额外燃油消耗等间接损失,这些因素在后续计算中都会考虑在内。两家企业同时确定自己的经营决策并根据彼此的决策调整后续运营策略,构建了一个不同环境责任意识水平下的公司博弈理论模型。

在没有GS投资的情况下,假设航运公司运输一单位货物(以TEU为单位)产生的环境成本为 ε 。当航运公司投资GS,其GS水平为 s 时,运输一单位货物产生 $(1-s)\varepsilon$ 个单位的环境成本,其中 $s \in [0, 1]$,为方便计算,我们将 ε 归为1,这不会影响最终的结论。为达到GS水平 s ,根据XIAO等^[10]研究,假设

航运公司运输 1 单位货物所需要相应投入的单位绿色成本为 η , η 为单位绿色成本系数。单位绿色成本一般指由于燃烧更清洁的燃料、运行更清洁的发动机等而产生的运费溢价。此外,投资 GS 可以为航运公司提供正面的社会声誉、吸引更多的托运人、增加市场规模,使用 $\theta \cdot s$ 来表示航运公司因为绿色投资所增加的市场规模,其中 θ 为绿色投资(对市场规模的)影响系数。

本文将航运市场需求视为固定的,公司 I 和 E 在运输市场上竞争,假设两家公司在运输数量 q_i ($i = I, E$) 上竞争,另一种可能的设定为货运价格竞争。然而,价格竞争中存在需求放大现象,即市场总需求随着公司 I 和 E 之间服务可替代性的增加而增加,这不利于分析市场博弈问题,具体来讲,当两家公司之间的服务可替代性足够高时,运费价格竞争导致市场总需求高于实际总需求。因此,两家公司竞争之下的利润将被错误计算,从而进一步导致错误的减排投资策略分析。与 WANG 等^[11]保持一致,两家公司的需求逆函数如下:

$$p_I = a + \theta \times s_I - q_I - dq_E \quad (1)$$

$$p_E = a - q_E - dq_I \quad (2)$$

上述式(1)(2)中, p_i ($i = I, E$) 表示市场出清运费价格,由货运量 q_i 决定; a 为公司 I 和 E 的基本市场规模; $\theta \cdot s$ 表示公司 I 因为 GS 投资所增加的市场规模; d 表示运输服务可替代性,用以衡量两家航运公司之间的竞争强度, d 越高表明两家航运公司之间的竞争越激烈。

为明确本文中各符号所指代的变量,表 1 列出了本文涉及的所有符号。本文中借助上标“*”来表示最优/均衡结果;在客户环保诉求不断提高、航运业逐步推进绿色转型的背景下,我国政府逐渐加大对港口岸电、船舶低硫油与脱硫塔等绿色技术的补贴并强化对违规排放等行为的监管和惩治力度。同时,环保意识会正向影响企业持续竞争优势的获得,从而扩大企业间的实力差距,因此本文中用 l 表示由于航运公司进行 GS 投资,所得的业务收益外的间接单位货运收益(如政策补贴、碳排放交易市场收益等);用 g 表示由于航运公司未进行 GS 投资,所造成的业务成本外的间接单位货运损失(如环保罚款、航线变长成本增加等);由于变量 l 和 g 非本研究中的关键变量,且为方便后续计算,由变量 w ($w > 0$) 统一指代间接单位货运损益,设 $w = l = g$, 这不会影响最终的结论。为了保证模型有意义,假定 $\eta > (\theta + r_1)/2$, 原因是:当绿色投资成本系数较低时,公司 I 可以大大提高其 GS 投资水平,实现零

污染(即环境成本为 0),但在现实中,企业不可能通过大量的 GS 投资实现完全的零污染,所以我们需要对绿色投资成本系数加以限制。

表 1 参数变量

Tab. 1 Notation

参数变量	含义
*	最优/均衡结果
l	间接单位货运收益
g	间接单位货运损失
w	间接单位货运损益
q_i	公司 i 的货运数量 ($i = I, E$)
p_i	公司 i 的货运价格 ($i = I, E$)
r_i	公司 i 的环境责任意识水平 ($0 \leq r_i \leq 1$)
Δr	环境责任意识差异水平
s_i	公司 i 的绿色航运投资水平 ($0 \leq s_i \leq 1$)
a	基本市场规模
θ	绿色投资对市场规模的影响系数
η	绿色投资成本系数
d	运输服务可替代性 ($0 \leq d \leq 1$)
π_i	公司 i 的效用
Σ	航运市场总效用
E	环境成本

1.2 环境责任意识相异时的减排策略

在基础模型中,因只有公司 I 具有 ER 意识,两家航运公司的效用函数分别为:

$$\pi_I(w, s_I, q_I) = (p_I - \eta s_I^2) q_I - r_I E + w q_I \quad (3)$$

$$\pi_E(q_E) = (p_E - w) q_E \quad (4)$$

其中, $E = (1 - s_I) q_I$, E 为航运公司运输 q_I 单位货物的环境成本, w 为航运业转型升级背景下绿色航运投资给航运公司带来的间接货运损益,采用逆向分析的方法推导出该博弈下两家航运公司的最优货运数量和 GS 水平,以及不同 ER 意识差异情况下的减排投资策略选择。

公司 I 首先决定自己的 GS 水平,然后两家公司将同时确定各自的货运数量 q_I 和 q_E ,以最大化各自的效用 π_I 和 π_E 。利用逆向归纳法求解,得到货运量和 GS 水平的反应函数:

$$q_I = [2\eta a(2 - d) + 2\eta w(2 + d) + (\theta + r_1)^2 - 4\eta r_1] / 2\eta(4 - d^2) \quad (5)$$

$$q_E = [4\eta a(2 - d) - 4\eta w(2 + d) - d(\theta + r_1)^2 + 4\eta d r_1] / 4\eta(4 - d^2) \quad (6)$$

$$s_I^* = (\theta + r_1) / 2\eta \quad (7)$$

1.2.1 环境责任意识相异时的产量博弈

由式(7)可知,公司 I 的最优 GS 投资水平与间接单位货运损益无关,只受到绿色航运投资本身的成本和收益影响,而根据上述反应函数可得:

命题 1 在公司 I 和 E 基于不同 ER 意识水平的产量博弈中,公司 I 的 ER 意识水平越高,会促使其确定更高的 GS 投资水平,而运输服务可替代性 d 对公司 I 的最优 GS 投资水平没有影响;公司 I 的 ER 意识水平的提高,会导致公司 E 的货运量 q_E 提高。

证明:

$$\partial s_1^* / \partial r_1 > 0, \partial s_1^* / \partial d = 0;$$

$$\partial q_1 / \partial r_1 < 0, \partial q_E / \partial q_1 < 0$$

证毕。

命题 1 表明,公司 I 的 ER 意识水平越高,为提高环境绩效会相应确定更高的 GS 投资水平,而公司 I 的 GS 投资水平不受运输服务可替代性 d 的影响;对于两家公司的货运数量,随着公司 I 的 ER 意识水平的提高,I 的货运数量减少,而公司 E 的货运数量增加。

在此种情况下,公司 E 是否需要提高 ER 意识、进行 GS 投资和绿色航运转型取决于当下能否在与公司 I 的产量博弈中取得正效用,将式(5)——(7)代入式(3)、(4),可得公司 I 和 E 的效用函数。两家航运公司在 ER 意识相异时产量博弈的均衡结果,如表 2 所示。

表 2 基于不同 ER 意识水平的产量博弈均衡结果

Tab.2 Equilibrium outcomes of the output game based on different levels of ER awareness

函数	表达式
π_1^*	$[2\eta a(2-d) + 2\eta w(2+d) + (\theta + r_1)^2 - 4\eta r_1]^2 / 4\eta^2(4-d^2)^2$
π_E^*	$[4\eta a(2-d) - 4\eta w(2+d) - d(\theta + r_1)^2 + 4\eta d r_1]^2 / 16\eta^2(4-d^2)^2$
Σ^*	$\pi_1^* + \pi_E^*$
E^*	$(1 - s_1^*)q_1^* + q_E^*$

1.2.2 航运公司减排投资策略转变阈值

命题 2 在公司 I 和 E 基于不同 ER 意识水平的产量博弈中,公司 I 的效用函数 π_1 是 w 的递增函数,是 r_1 的递减函数;公司 E 的效用函数 π_E 是 w 的递减函数,是 r_1 的递增函数。

证明:

$$\partial \pi_1 / \partial w > 0, \partial \pi_E / \partial w < 0;$$

$$\partial \pi_1 / \partial r_1 < 0, \partial \pi_E / \partial r_1 < 0$$

证毕。

因公司 E 的效应函数是 w 的递减函数,所以存在某阈值,当公司 E 的间接单位货运损失高于该阈值,难以被业务收益弥补时,不进行 GS 投资的运营策略无法使航运公司 E 在市场中取得正效用($\pi_E < 0$),所以为保证继续盈利公司被迫进行绿色转型、投资绿色航运以降低 w 对公司效益带来的负面影响。同理,也存在某阈值使得公司 I 无法承担绿色航运转型带来的成本($\pi_1 < 0$),在不能保证绿色转型后企业效用为正的情况下继续进行 GS 投资的意愿就会被大大削减,甚至存在放弃 GS 投资的可能。

由于 w 和 r_1 都是影响企业效用的变量,合理推断 r_1 也存在阈值会促使航运公司转变减排投资策略。其原因是,当公司 I 的环境责任意识水平较低时,公司 I 为不愿意为降低环境成本而出让过多货运业务,公司 E 因此只能从公司 I 处得到很少的货运业务,利润提升有限,同时公司 E 要承担不进行绿色航运投资所造成的间接货运损失。当公司 I 的 ER 意识低于某阈值时,公司 E 即使有从公司 I 处获取的新增货运业务但其直接业务利润仍不足以弥补政府罚款、运营成本上升等损失,便会被迫进行绿色转型以停止亏损。同理,当公司 I 的 ER 意识和 GS 投资水平高于一定程度使得企业利润结构中业务利润占比过低时,公司 I 会因为航运市场竞争力弱而暂缓甚至放弃 GS 投资和绿色航运转型。

命题 3 当间接单位货运收益的大小分别满足: $w < \hat{w}_1, w > \hat{w}_E$ 时,两家公司会为保证公司的效用为正而放弃当下的减排投资策略;当公司 I 的 ER 意识水平满足 $r > \hat{r}_1, r < \hat{r}_E$ 时,为保证自身在航运市场中的竞争力也会促使公司减排投资策略的转变。

证明:

$$\pi_1(\hat{w}_1) = 0, \pi_E(\hat{w}_E) = 0;$$

$$\pi_1(\hat{r}_1) = 0, \pi_E(\hat{r}_E) = 0$$

证毕。表 3 具体说明了各阈值情况。

表 3 所有阈值汇总

Tab.3 Summary of thresholds

变量	r_1, w 的阈值表达式
\hat{w}_1	$[2\eta a(2-d) + (\theta + r_1)^2 - 4\eta r_1] / (-2\eta)(2+d)$
\hat{w}_E	$[4\eta a(2-d) - d(\theta + r_1)^2 + 4\eta d r_1] / 4\eta(2+d)$
\hat{r}_1	$2\eta - \theta - \sqrt{2\eta[2(\eta - \theta) - a(2-d) - w(2+d)]}$
\hat{r}_E	$2\eta - \theta - 2\sqrt{\frac{\eta[2(\eta - \theta) - a(2-d) - w(2+d)]}{d}}$

1.3 ER 意识相同时的减排策略

为了保证研究结果的严谨性,在对基础模型下的产量博弈分析后,研究了环境责任意识水平差异较小情况下的两个模型:两家公司都无 ER 意识以及都有 ER 意识且水平相同。两家公司在 ER 意识相同时的产量博弈均衡结果,如表 4 所示。

表 4 基于相同 ER 意识水平的产量博弈均衡结果

Tab.4 Equilibrium results of the output game based on the same level of ER awareness

变量	航运公司都无 ER 意识	航运公司都有 ER 意识且水平相同
s^*	0	$\frac{(\theta + r_1)}{2\eta}$
q^*	$\frac{a}{2+d}$	$\frac{4\eta(a - r_1) + (\theta + r_1)^2}{4\eta(2+d)}$
π^*	$\left(\frac{a}{2+d}\right)^2$	$\left[\frac{4\eta(a - r_1) + (\theta + r_1)^2}{4\eta(2+d)}\right]^2$
Σ^*	$\frac{2a^2}{(2+d)^2}$	$2 \times \left[\frac{4\eta(a - r_1) + (\theta + r_1)^2}{4\eta(2+d)}\right]^2$
E^*	$\frac{2a}{2+d}$	$\frac{[4\eta(a - r_1) + (\theta + r_1)^2](2\eta - \theta - r_1)}{4\eta^2(2+d)}$

命题 4 在推广环境责任意识和绿色航运转型过程中为实现航运市场总体效益的提高需要降低绿色投资成本、提高投资绿色航运的相关收益。

证明:根据环境责任意识相同水平的两种博弈模型下的均衡结果可以推导:为保证绿色航运转型后,航运业在实现更高环境绩效的同时取得更大的经济效益,即需要实现:

$$\frac{2a^2}{(2+d)^2} < 2 \times \left[\frac{4\eta(a - r_1) + (\theta + r_1)^2}{4\eta(2+d)}\right]^2$$

需要满足条件:

$$\eta < \frac{(\theta + r_1)^2}{4r_1} \quad (8)$$

根据对环境责任意识相异和相同时减排投资策略的分析可以发现,当航运市场中不同企业间绿色投资水平存在一定程度的差异、绿色转型的回报(如政府的补贴、更好的社会声誉等)较为显著时,主动进行绿色航运转型的企业更容易在市场竞争中处于优势地位,因此带动其他企业通过提高 ER 意识和 GS 投资水平以提高经济效益。随着航运业绿色转型的推进,航运市场中的企业不存在显著的 ER 意识差异时,投资绿色航运的成本会成为制约航运企业持续盈利、进一步绿色转型的重要因素,因此需

要将绿色航运投资成本需控制在一定范围内以保证航运企业得以在绿色转型过程中兼顾经济效益与社会效益。

何枫等^[12]研究中发现,当企业环境管理水平提高时,环境绩效对经济效益的贡献会逐步提高,促使企业积极承担环境责任、提高合法性和声誉、创造竞争优势;而随着企业在环境方面投入的加大,将有限的资源更多分配到非生产性的环境保护方面,企业在生产性方面的资源投入受到侵蚀,经济效益面临下滑的风险。这一结论与本文模型中不同 ER 意识差异情况下的投资策略相契合,也一定程度上反映了结论的有效性。

通过上述结论也可以得到启发,政府作为宏观调控者,需要通过政策、法规等提高各航运企业 GS 投资力度,提高全行业 ER 意识水平,同时通过鼓励技术创新、提高产业链协同等方式降低企业绿色投资成本,减少绿色投资对企业经济效益的负面影响。例如在 2024 年 1 月,工信部等五部委联合发布了《船舶制造业绿色发展行动纲要(2024—2030 年)》,对齐各航运企业绿色转型目标,促使全行业 ER 意识趋于统一,同时推动清洁能源的使用和智慧港口的建设。以天津港为例,清洁运输体系持续健全,铁矿石清洁运输比例达 71%,集装箱、焦炭内部倒运实现 100% 清洁运输,成效显著。

2 结论

在航运业污染排放日益严峻、环境责任意识亟待加强的背景下,进行减排投资和绿色航运转型已成为航运公司在航运市场稳步发展的必要条件。因此,探讨市场规律下航运公司如何确定和调整自己的减排投资策略、绿色航运投资水平受何因素的影响是有意义的。主要研究结论如下。

1) 航运公司间过大的 ER 意识差距会使 ER 意识高的航运公司在市场竞争下绿色航运投资的意愿逐渐降低;反之会为无 ER 意识的航运公司绿色转型提供动力。

2) 政策、产业链的协同性等外部因素会影响到企业减排投资策略的选择,这些外部因素给具有 ER 意识的航运公司提供的间接收益越大,越能倒逼无 ER 意识的航运公司进行绿色航运投资。

3) 针对航运企业环境责任意识差距大、绿色转型成本高的问题,政府通过以下多维度政策组合推动行业均衡发展。

建立分阶段强制性法规与差异化激励。按企业规模(如载重吨位)设定差异化的碳排放强度达标年限,对中小企业给予燃料系统改造补贴。

构建全产业链成本分摊机制。政府主导在核心港口投资建设清洁燃料站,向企业开放低成本使用。

推动行业协同与技术共享。要求头部企业开放部分非核心专利供中小企业免费使用,政府资助成立区域性绿色航运联盟,推动成员企业共享燃料采购合同与运营经验。

本研究尚存在一些不足,如为方便计算简化了航运企业间接损益的计算方式,与实际情况存在较大差别;仅关注环境责任意识与减排投资策略的相关性,没有充分考虑其他影响投资决策的因素。此外,本文的研究聚焦于理论分析,缺乏实证研究,研究结论的科学性和可行性仍待进一步实际验证。因此,通过调查分析现实中航运企业环境责任意识差异和减排投资策略变化情况从而对二者相关性做进一步刻画,是未来重要的研究方向之一。

参 考 文 献

[1] 刘鼎恒, 邹志勇. 市场激励型环境规制下企业履行社会责任对企业财务绩效的影响[J]. 北京经济管理职业学院学报, 2024, 39(4): 48-54.

LIU D H, ZOU Z Y. The impact of corporate social responsibility on corporate financial performance under market-incentive environmental regulation [J]. Journal of Beijing Institute of Economic and Management, 2024, 39(4): 48-54. (in Chinese)

[2] 刘阳, 张桂涛. 基于企业环保目标和消费者环保意识的闭环供应链网络决策研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(11): 71-81.

LIU Y, ZHANG G T. The closed-loop supply chain network decision based on corporate environmental criteria and consumer's environmental consciousness [J]. China Population Resources and Environment, 2019, 29(11): 71-81. (in Chinese)

[3] 董丹丹. 企业环境政策不确定性感知如何影响绿色投资? [J]. 湖南科技大学学报(社会科学版), 2024, 27(1): 138-148.

DONG D D. How can Corporate Environmental Policy Uncertainty Perception Affect Green Investment? [J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Social Science Edition), 2024, 27(1): 138-148. (in Chinese)

[4] 芦德龙, 严俊, 杨帆. 航运业绿色低碳发展现状与思

考[J]. 船舶物资与市场, 2025, 33(1): 121-123.

LU D L, YAN J, YANG F. Current status and reflections on green and low-carbon development in the shipping industry [J]. Ship Materials & Market, 2025, 33(1): 121-123. (in Chinese)

[5] 刘家国, 武杰. 绿色政策规制下的航运企业减排策略转换时机决策研究[J]. 系统工程理论与实践, 2023, 44(4): 1304-1320.

LIU J G, WU J. Research on timing decision of shipping companies' emission reduction strategy switching under green policy regulation [J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2023, 44(4): 1304-1320. (in Chinese)

[6] 桑高峰, 孟燕萍. 碳税政策下港口与船舶减排决策的博弈分析[J]. 科技管理研究, 2019(21): 227-235.

SANG G F, MENG Y P. Game analysis of port and ship decisions on emission reduction under carbon tax policy [J]. Science and Technology Management Research, 2019(21): 227-235. (in Chinese)

[7] 李晓东, 匡海波, 何鸿宇. 政府环境规制下港航系统减排演化博弈研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2023, 23(1): 17-29.

LI X D, KUANG H B, HE H Y. Evolutionary game analysis of port and shipping system emission reduction under government regulation [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2023, 23(1): 17-29. (in Chinese)

[8] Piecyk M I, Bjoerklund M. Logistics service providers and corporate social responsibility: sustainability reporting in the logistics industry [J]. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2015, 45(5): 459-485.

[9] 彭雪蓉, 魏江. 利益相关者环保导向与企业生态创新——高管环保意识的调节作用[J]. 科学学研究, 2015, 33(7): 1109-1120.

PENG X R, WEI J. Environmental protection orientation of stakeholders and enterprise ecological innovation-adjusting effect of executive environmental protection consciousness [J]. Studies in Science of Science, 2015, 33(7): 1109-1120. (in Chinese)

[10] XIAO T, CHOI T M. Quality, greenness, and product line choices for a manufacturer with environmental responsibility behaviors [J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2019, 69(6): 2634-2648.

[11] WANG J, LIU J, ZHANG X, et al. Service purchasing and market-entry problems in a shipping supply chain

- [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 136:101895.
- [12] 何枫,刘荣,陈丽莉. 履行环境责任是否会提高企业经济效益? ——基于利益相关者视角[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2020, 22(6):32-42.
- HE F, LIU R, CHEN L L. Does fulfilling environmental responsibility improve corporate economic performance? —From the perspective of stakeholders [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 2020, 22(6):32-42.
-
- (上接第 143 页)
- [12] 郭振峰, 范厚明, 崔文罡, 等. 港城互动构建绿色低碳港口城市系统仿真[J]. *生态经济*, 2016, 32(6): 98-102.
- GUO Z F, FAN H M, CUI W G, et al. Dynamic simulation of green and low-carbon port city system co-built by port and city[J]. *Ecological Economy*, 2016, 32(6):98-102. (in Chinese)
- [13] 杨栋, 翁振松, 王龙. 充分发挥铁路作用, 推进运输结构调整[J]. *铁道经济研究*, 2018(6):17-21.
- YANG D, WNEG Z S, WANG L. Give full play to the role of railways and promote the adjustment of transport structure[J]. *Railway Economics Research*, 2018(6): 17-21. (in Chinese)
- [14] 周雄勇, 许志端, 郗永勤. 中国节能减排系统动力学模型及政策优化仿真[J]. *系统工程理论与实践*, 2018, 38(6):1422-1444.
- ZHOU X Y, XU Z D, XI Y Q. The system dynamic model and policy optimized simulation of energy conservation and emission reduction in China [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2018, 38(6): 1422-1444. (in Chinese)
- [15] 赵珊珊. 武汉港碳排放分析及系统动力学仿真[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2019.
- ZHAO S S. Analysis and system dynamics simulation of carbon emissions in Wuhan Port [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2019. (in Chinese)
- [16] 张卓, 徐国平, 李兴华, 等. 航运碳减排措施及我国航运碳减排情景分析[J]. *工业安全与环保*, 2021, 47(增刊1):63-69.
- ZHANG Z, XU G P, LI X H, et al. Analysis of shipping carbon reduction measures and the scenarios of shipping carbon reduction in China[J]. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2021, 47(Suppl. 1):63-69. (in Chinese)