

我国航运业碳排放总量构成的影响因素研究与对策建议

李天宇¹, 李星宇^{2,*}, 张柏寒¹

(1. 保定理工学院, 管理科学与工程学院专任教师, 辽宁省社会学学会研究员, 071000;
2. 沈阳师范大学, 社会学学院社会工作专业硕士在读, 110000; * 1042876950@qq.com)

摘要: 2024 年全球航运科技大会提出新船订单的新能源动力“标配”改革, 标志航运业在碳减排和绿色可持续发展方面迈出了重要的一步。我国的航运业碳排放量仍然相对较高。为全面分析影响船舶碳排放总量的因素, 故采用了基准回归分析、滞后期检验以及分位数回归等进行实证分析。结果表明, 生产过程产生的碳排放 (IPCC) 对碳排放总量 (CO₂H) 有正向显著影响, 这一影响在两条路径上均得到验证。滞后期检验发现我国航运类上市企业在生产作业方面的减碳努力成果呈现周期性表现, 并不直接影响当年碳排放。分位数回归结果显示, 无论碳排放总量处于何种水平, 我国航运类上市企业在生产过程中的努力仍然远远不够, β 值均为正向, 且 p 值显示出强烈的显著性。因此, 航运业有必要减少生产运营过程中的碳排放、推广船舶废弃物处理的成功案例和先进经验、加快航运业绿色技术的研发与成果转化等对策建议。

关键词: 航运业碳排放; 影响因素; 对策建议

引言

随着全球气候变暖现象愈演愈烈, 减少碳排放、实现低碳发展已成为国际社会共同关注的重大议题。航运业作为全球贸易的动脉, 其庞大的碳排放量占全球总排放量的比重相当可观, 因此航运业的碳减排工作显得尤为迫切和重要。我国作为世界上最大的航运国家之一, 航运业的碳排放问题不仅直接关系到国内环境质量的改善, 更是对国际社会展示我国环保决心与责任担当的窗口。近年来, 我国政府已深刻认识到航运业绿色发展的重要性, 因此出台了一系列旨在推动航运业实现碳减排目标的政策措施。党的二十大报告提出“推动绿色发展”的新思路、新理念, 强调要建设现代化产业体系, 推进交通运输领域碳达峰工作。然而, 航运业由于其行业特性, 碳减排工作并非易事, 面临着技术瓶颈、成本增加、市场需求波动等多重挑战。

1 我国航运业碳排放总量构成的影响因素实证分析

1.1 研究设计及变量说明

1.1.1 变量选择

本研究数据来源于中国历年上市公司碳排放统计结果, 时间跨度 1993-2021, 指标数据主要为上市公司碳排放总量 (吨)、化石燃料燃烧排放、生物质燃料燃烧排放、原料开采逃逸排放、石油和天然气系统逃逸排放、电力调入调出间接碳排放、生产过程排放、固体废弃物焚烧排放、污水处理导致的排放、土地利用方式转变 (森林转为工业用地) 导致的排放。为了突出航运业特色, 本研究仅筛选出行业类型为“水上运输业”的数据进行讨论, 代表性上市公司主要有深赤湾 (00022)、珠海港 (000507) 和厦门港务 (000905) 等。

1.1.1.1 被解释变量

碳排放总量 CO_2H 。碳排放总量是指航运企业在其经营活动中所产生的所有温室气体排放总量，通常以吨为单位来衡量。这包括航运企业在生产、运营、供应链管理等环节产生的二氧化碳（ CO_2 ）、甲烷（ CH_4 ）、氧化亚氮（ N_2O ）等温室气体的总量。衡量经营主体碳排放总量的重要性在于评估航运企业对气候变化和全球变暖的贡献程度，以及制定和实施减排措施的必要性。

1.1.1.2 解释变量

生产过程产生的碳排放 $IPCC$ 。航运企业生产过程产生的碳排放主要来自船舶燃料的燃烧，包括船舶在航行中消耗的燃油所产生的二氧化碳（ CO_2 ）和其他温室气体排放。航运业是全球贸易的重要纽带，但也是碳排放的重要来源之一。船舶使用的燃料主要是重油、柴油等传统石油燃料，燃烧这些燃料会释放大量的 CO_2 、氮氧化物（ NO_x ）、硫氧化物（ SO_x ）等温室气体和污染物。航运企业的碳排放量与船舶的航行里程、负载量、船舶类型、航行速度等因素密切相关。

1.1.1.3 控制变量

化石燃料燃烧排放 CO_2f 、生物质燃料燃烧排放 CO_2b 、原料开采逃逸排放 CO_2m 、石油和天然气系统逃逸排放 CO_2o 、电力调入调出间接碳排放 CO_2e 、固体废弃物焚烧排放 CO_2i 、污水处理导致的排放 CO_2w 和土地利用方式转变导致的排放 CO_2l 。

CO_2f 来自化石燃料燃烧（如煤、石油和天然气）产生的二氧化碳排放。这是最常见和重要的温室气体排放之一。 CO_2b 来自生物质燃料（如木材、农作物残渣等）燃烧所产生的二氧化碳排放。 CO_2m 来自原料开采（例如矿石、煤炭等）过程中逃逸的二氧化碳排放。 CO_2o 来自石油和天然气系统（如开采、储运等环节）逃逸的二氧化碳排放。 CO_2e 来自电力调入调出过程中间接产生的二氧化碳排放。 CO_2i 来自固体废弃物（如垃圾、废物）焚烧所产生的二氧化碳排放。 CO_2w 来自污水处理过程中导致的二氧化碳排放。 CO_2l 来自土地利用方式转变（例如森林转为工业用地）导致的二氧化碳排放。

1.2 模型设定

本研究旨在考察航运业上市公司碳排放总量 CO_2H 的影响因素，设定基本回归模型：

$$CO_2H_{i,t} = \alpha - \beta IPCC_{i,t} - \lambda x_{i,t} + \varphi_i + \mu_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

其中，碳排放总量 $CO_2H_{i,t}$ 用以考察航运企业在其经营活动中所产生的所有温室气体排放总量， $IPCC_{i,t}$ 用以考察航运企业生产过程产生的碳排放， $x_{i,t}$ 为一系列控制变量。系数 β 用以衡量航运企业生产过程中产生的碳排放对航运企业碳排放总量的影响，如果 $\beta > 0$ 就说明航运类上市企业的生产作业未积极进行能源转型与节能减排， λ 用以衡量控制变量的影响。因此，在本研究中，被解释变量与控制变量如果负向影响被解释变量是为积极的结果。

1.3 描述性统计分析

如下图所示，随着我国航运业的发展，碳排放总量与日俱增，在 2021 年达到顶峰，航运类上市公司碳排放均值接近 400 万吨。

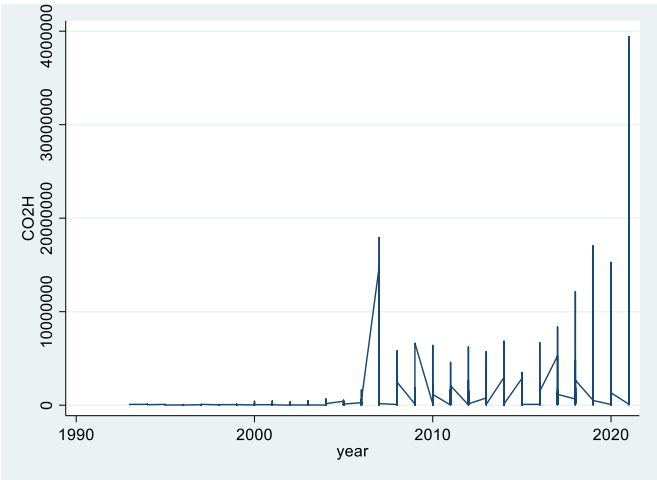


图 1. 航运类上市公司碳排放总量近 28 年的增长趋势

表 1 展示了我国航运类上市公司近 28 年的碳排放水平，描述了航运类上市公司不同来源和过程中产生的碳排放量。

表 1. 描述性统计结果

变量名称	obs	Mean	SD	Min	Max
碳排放总量 CO2H（吨）	557	805806.9	241209.6	0	3.94e+07
生产过程产生的碳排放 IPCC（吨）	557	94844.5	286710.6	0	4489009
化石燃料燃烧排放 CO2f（吨）	557	129376.5	369702.6	0	5653025
生物质燃料燃烧排放 CO2b（吨）	557	54725.1	157630.9	0	2543592
原料开采逃逸排放 CO2m（吨）	557	190237.2	589746.4	0	9766603
石油和天然气系统逃逸排放 CO2o（吨）	557	57563.56	195076.5	0	3448938
电力调入调出间接碳排放 CO2e（吨）	557	56008.6	174212.4	0	2963931
固体废弃物焚烧排放 CO2i（吨）	557	56233.8	164175.5	0	2527425
污水处理导致的排放 CO2w（吨）	557	57129.3	190328.2	0	3499235
土地利用方式转变的排放 CO2l（吨）	557	109688.4	304263.8	0	4533917

如表 1 所示，除碳排放总量外，我国航运类上市公司近 28 年的原料开采逃逸排放 CO2m 均值最大，为 190237.2 吨，同时也表现出最大的离散程度，标准差为 589746.4。原料开采逃逸排放 CO2m 在航运类上市公司中的均值最大和具有最大的离散程度，表明这一排放来源在碳排放中占据重要地位，并且数据的波动性较大。这意味着政府部门要加强对原料开采过程中的碳排放控制和管理，以减少对环境的影响并推动可持续发展。

1.4 基准回归分析

本研究使用豪斯曼检验，用以判断选择随机效应模型还是固定效应模型，经对比发现，本研究数据适合采用随机效应模型，即不考虑企业个体和年份对航运类上市企业碳排放总量 CO2H 的影响。

表 2. 基准回归结果

变量	(1)	(2)
	碳排放总量 CO2H	碳排放总量 CO2H
生产过程产生的碳排放 IPCC	8.369236*** (0.036377)	0.6560469*** (0.0475343)
化石燃料燃烧排放 CO2f		1.767278*** (0.0329377)
生物质燃料燃烧排放 CO2b		02.144914*** (0.0602986)
原料开采逃逸排放 CO2m		1.986913*** (0.0283855)
石油和天然气系统逃逸排放 CO2o		0.6825756*** (0.0400241)
电力调入调出间接碳排放 CO2e		0.1159742* (0.0620115)
固体废弃物焚烧排放 CO2i		-0.502295*** (0.0557238)
污水处理导致的排放 CO2w		0.11112 (0.23442)
土地利用方式转变的排放 CO2l		0.19154 (0.231409)
固定时间	Yes	Yes
固定个体	Yes	Yes
R ²	0.97	0.99

注：（）代表标准误差，*代表 p<0.1，**代表 p<0.05，***代表 p<0.01，下同。

如表 2 所示，在不考虑企业个体和年份对航运类上市企业碳排放总量 CO2H 影响的前提下，无论是否加入控制变量，生产过程产生的碳排放 IPCC 均正向影响碳排放总量 CO2H（路径（1）β=8.369236，p<0.01；路径（2）β=0.6560469，p<0.01）。加入控制变量后，固体废弃物焚烧排放 CO2i 负向影响碳排放总量 CO2H（λ=-0.502295，p<0.01）。这意味着我国航运类上市企业的生产作业未积极进行能源转型与节能减排。值得庆幸的是，船舶在港口停靠时产生的固体废弃物需要进行处理，而焚烧这些固体废弃物可能导致二氧化碳等温室气体的排放，我国航运类上市公司可能对船舶在港口停靠时产生固体废弃物的处理较为重视。

我国航运类上市企业在生产作业方面所做出的能源转型与节能减排努力可能不体现在当年。为验证这一猜想，本研究使用滞后期模型对解释变量生产过程产生的碳排放 IPCC 滞后一期项，结果如下表 3 所示。

表 3. 滞后期检验

变量	(1)	(2)
	碳排放总量 CO2H	碳排放总量 CO2H
L.生产过程产生的碳排放 IPCC	7.41156*** (0.3114332)	-0.0768611*** (0.0072808)

表 3. 续

变量	(1)	(2)
	碳排放总量 CO2H	碳排放总量 CO2H
化石燃料燃烧排放 CO2f		2.389169*** (0.0510651)
生物质燃料燃烧排放 CO2b		2.771553*** (0.0502986)
原料开采逃逸排放 CO2m		2.546731*** (0.0424012)
石油和天然气系统逃逸排放 CO2o		0.2397387*** (0.0566887)
电力调入调出间接碳排放 CO2e		-0.9079562*** (0.059445)
固体废弃物焚烧排放 CO2i		-0.6399435*** (0.0766543)
污水处理导致的排放 CO2w		0.110099 (0.009877)
土地利用方式转变的排放 CO2l		-0.5534535*** (0.0418692)
R ²	0.11	0.99

如上表 3 所示，当加入控制变量后，我国航运类上市企业在生产作业方面所做出的能源转型与节能减排努力体现出了积极的表现（ $\beta=-0.0768611$ ， $p<0.01$ ），同时在电力调入调出间接碳排放、固体废弃物焚烧排放方面也体现出了积极的表现。结合表 2.2 的结果来看，可以看出我国航运类上市企业在生产作业方面的减碳努力成果为周期性表现，并不作用于当年。同时，离不开船舶在港口停靠时产生固体废弃物的处理、接入岸电供电和港口扩建等方面减碳的共同努力。

在基本回归分析与滞后期检验结果的基础上，本研究通过使用分位数回归探索航运类上市企业生产作业碳排放对不同程度碳排放总量的影响，结果如下表 4 所示。

表 4. 分位数回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	碳排放总量 10%CO2H	碳排放总量 50%CO2H	碳排放总量 90%CO2H
生产过程产生的碳排放 IPCC	2.6602*** (0.3741674)	2.67113*** (0.4850271)	2.887057*** (0.3285637)
电力调入调出间接碳排放 CO2e	2.674905*** (0.4284394)	3.288849*** (0.4000057)	3.58207*** (0.4813297)
固体废弃物焚烧排放 CO2i	2.497926*** (0.4115521)	2.427718*** (0.4924123)	2.447898*** (0.345281)
土地利用方式转变的排放 CO2l	2.063545*** (0.1762108)	2.142866*** (0.2058898)	2.131031*** (0.1338385)

如表 4 所示, 无论何种程度的碳排放总量, 我国航运类上市企业在生产过程中所做的努力依旧远远不够, β 值均体现为正向, p 值均体现出极强的显著性。因此, 面对“双碳”目标, 我国航运类上市公司必须加快能源转型和提高绿色技术的使用效率。

2 研究结论与建议

2.1 研究结论

即使目前我国政府出台了许多政策推动低碳发展, 但航运业碳排放强度居高不下, 减碳技术创新有限, 能源转型效率低。因此, 为了深入分析和解决我国航运业现存的碳排放问题。本研究在绿色发展理念和可持续发展理念的指导下, 通过文献分析法梳理了目前我国航运业低碳发展的相关政策, 以及航运业节能减排技术创新和能源转型的现状。在此基础上运用基准回归分析、滞后期检验和分位数回归等实证分析方法, 研究影响航运业碳排放总量的重要因素, 最后总结全文并提出具有针对性的对策建议。

基准回归分析结果显示, 生产过程产生的碳排放 (IPCC) 对碳排放总量 (CO_2H) 有正向显著影响, 这一影响在两条路径上均得到验证 (β 值分别为 8.369236 和 0.6560469, $p < 0.01$)。引入控制变量后, 发现固体废弃物焚烧排放 (CO_2i) 对碳排放总量产生负向显著影响 ($\lambda = -0.502295$, $p < 0.01$), 表明我国航运类上市企业在处理船舶在港口停靠时产生的固体废弃物方面可能较为重视, 尽管这可能导致二氧化碳等温室气体的排放。进一步通过滞后期检验, 发现我国航运类上市企业在生产作业方面的减碳努力成果呈现周期性表现, 并不直接影响当年碳排放。此外, 分位数回归结果显示, 无论碳排放总量处于何种水平, 我国航运类上市企业在生产过程中的努力仍然远远不够, β 值均为正向, 且 p 值显示出强烈的显著性。

2.2 政策建议

2.2.1 减少生产运营过程中的碳排放

实现航运业的碳减排, 首先要从减少生产运营过程中的碳排放入手, 强化环保意识与企业文化建设, 实施精细化的能源管理策略, 持续监测与改进企业碳排放。航运企业应积极倡导绿色、低碳的发展理念, 将这种理念融入到企业的核心价值观中。通过定期举办环保培训、分享会以及开展相关的环保活动, 确保每一位员工都能深刻认识到减少碳排放的重要性, 并将其转化为日常工作中的实际行动。企业还应建立激励机制, 鼓励员工提出减排建议和措施, 共同为减少碳排放贡献力量。其次, 实施精细化的能源管理策略是减少碳排放的关键。航运企业应优化燃油消耗, 选择高效、环保的燃料, 减少不必要的航行和停靠时间。最后, 利用先进的能源监控系统, 实时监控船舶的能源消耗情况, 及时发现问题并采取相应措施进行改进。

2.2.2 推广船舶废弃物处理的成功案例和先进经验

推广船舶废弃物处理的成功案例和先进经验, 能够发挥显著的示范效应, 进而促进全国航运业碳减排。推广成功案例, 首先要在全国范围内积极收集并整理船舶废弃物处理的成功案例, 并提炼出其中的经验做法和关键技术, 形成系统的方法论, 将这些经验总结转化为可复制、可推广的模式。同时结合不同地区的实际情况, 制定具体的实施方案和操作指南, 为其他港口和航运企业提供借鉴和参考。此外, 通过举办培训班、现场观摩、专家授课、技术合作与交流等, 将这些成功经验推广到其他地区和企业。

2.2.3 加快航运业绿色技术的研发与成果转化

绿色技术是推动航运业转型升级的关键, 有助于航运业降低碳排放强度, 提高能源利用效率, 实现可持续发展。加快航运业绿色技术的研发与成果转化需要航运企业、科研机构、政府和国际社会共同努力。通过

建立绿色技术研发中心，加强产学研用深度融合，制定政府资金支持和激励政策，增强国际合作与交流，共同推动航运业绿色技术的快速发展，为全球航运业的可持续发展作出重要贡献。

参考文献

- [1] 陈舜, 缪春燕, 章强. 中国航运业碳减排政策研究: 基于政策网络视角[J]. 大连海事大学学报(社会科学版), 2022, 21(05): 10-18.
- [2] 张海波, 吴成结, 刘志戈. 浅析航运业聚焦双碳目标的研究[J]. 珠江水运, 2023, (23): 109-111.
DOI:10.14125/j.cnki.zjsy.2023.23.010.
- [3] 宋子豪. 不同碳减排政策下的集装箱班轮航线配船与航速优化研究[D]. 大连海事大学, 2023.
DOI:10.26989/d.cnki.gdlhu.2023.000174.
- [4] 黄有方, 魏明晖, 王煜, 等. “双碳”目标导向下我国绿色航运物流发展现状与趋势[J]. 大连海事大学学报, 2023, 49(01): 1-16.
- [5] Lingpeng M, Kemeng L, Junliang H, et al. Carbon emission reduction behavior strategies in the shipping industry under government regulation: A tripartite evolutionary game analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 378.
- [6] Traut M, Larkin A, Anderson K, et al. CO2 abatement goals for international shipping[J]. Climate Policy, 2018, 18(8): 1066-1075.