



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eng



Views & Comments

欧盟将海运纳入排放交易体系对航运企业的影响

王帅安^a, 镇璐^b, Harilaos N. Psaraftis^c, 鄢然^a

^a Department of Logistics and Maritime Studies, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong 999077, China

^b School of Management, Shanghai University, Shanghai 200444, China

^c Department of Management Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby DK-2800, Denmark

1. 引言

海运是国际贸易的支柱。国际海运贸易总量在2012年已达84.08亿吨,到2019年已增至110.76亿吨,年平均增长率为3.12%。2020年年初,世界船队共有9.814万艘总吨位在100 t及以上的船舶,总载重吨位达206万吨 [1]。与此同时,航运产生的温室气体排放不容忽视。国际海事组织进行的第四次温室气体研究表明,2018年全球航运业共排放二氧化碳(carbon dioxide, CO₂) 10.56亿吨,约占全球人为CO₂排放量的2.89% [2]。然而,由于航运的国际性,《联合国气候变化框架公约》的《京都议定书》和《巴黎协定》都没能有效控制船舶的CO₂排放。为了实现航运业零碳排放,国际海事组织制定的战略规定到2050年航运业的温室气体年排放总量相比2008年的水平至少降低50% [3]。然而,自该战略发布以来国际海事组织尚未颁布任何强制性规则。

鉴于国际海事组织在减少船舶碳排放方面没有取得足够的进展,欧盟决定在促进航运业节能减排方面发挥主导作用。2015年,欧盟发布了于2018年年初生效的针对总吨位在5000 t以上的船舶进出欧盟成员国管辖港口的CO₂排放监测、报告和核查(monitoring, reporting, and verification, MRV)法规[4]。值得一提的是,根据MRV法规的规定,即使一次航程中只有一个港口在而另一个港口不在欧洲经济区内(如从鹿特丹直接到新加坡的航程),相关船舶仍必须报告整个航程的CO₂排放

总量而不仅仅是欧盟水域内部分航程的排放量。

MRV制度已经运行了两年多,且2018年和2019年报告期的CO₂排放数据已经公布。根据收集到的数据,欧洲议会[5]在2020年9月16日投票表决通过了将海运纳入欧盟排放交易体系(Emissions Trading System, ETS)的决议。这是一个以市场为基础的机制,它利用经济手段,如对船用燃料征税和通过ETS对污染者减少排放提供货币激励[6]。欧盟委员会正在对ETS进行影响评价,评价结果预计将于2021年发布。截至目前(2021年6月),尚不清楚将航运纳入欧盟ETS将如何运作。可能的运作方式有两种:第一种是只有整个航程在欧盟内部才被纳入ETS;也就是说,只有从一个欧洲经济区港口到另一个欧洲经济区港口的航程才需要支付CO₂排放费用;第二种是在欧盟内部航行和在欧洲经济区港口与非欧洲经济区港口之间的航行都必须支付CO₂排放费用,并且欧洲经济区港口与非欧洲经济区港口之间的航行成本是基于整个航程而非仅考虑欧盟水域内的部分航程的CO₂排放量。在本文中,我们将同时研究两种运作方式及其意义;由于第二种运作方式涵盖了第一种,我们将更多地关注第二种运作方式。

2. 相关文献及影响分析

2.1. 现有相关文献综述

本文主要研究对海运施加CO₂排放成本后可能会受

到影响的三方面：绿色航运技术投资、运输方式转变和航运网络中船队部署。现将这三个方面的相关研究综述如下。在绿色航运技术投资方面，Bouman等[7]讨论了减少航运温室气体排放的最新技术、措施及其潜力。作者提出六大类具有投资潜力的绿色航运技术，分别为船体设计优化、规模经济、船舶动力和推进系统优化、航速优化、燃料和替代能源、气象导航和船舶调度优化。Metzger和Schinas [8]通过评估融资概念对技术总净现值的影响，介绍了一种新颖且易于使用的绿色航运技术选择标准。对于运输方式转变的相关研究，Zis等[9]研究了可以减轻或扭转低硫法规的实施对海运业的负面影响的政策。Zis和Psarftis [10]进一步模拟了低硫航运法规带来的海上和陆基运输模式的转变。关于航运网络中船队部署的相关研究，Gu等[11]提出了一个研究ETS对船队组成和部署影响的优化模型并得出结论：在短期内，ETS在大多数情况下无法实现减排。Zhen等[12]提出了一个将采取绿色航运技术纳入考虑的数学模型，该模型通过优化船队部署、航行速度、船期表、货物和泊位分配以实现运营总成本最小化。

2.2. 将航运纳入 ETS 的两种可能运营方式对技术投资和运输方式转变的影响

一旦将航运纳入欧盟ETS被最终确定并生效（无论采取哪种运营方式），一艘符合条件的船舶将须支付高昂的CO₂排放成本，且实施第二种运营方式的成本比实施第一种的成本更高。以一艘大型集装箱船为例，该船在21天内从新加坡直达鹿特丹，每天燃烧100 t燃油。假设1 t燃油产生3.17 t CO₂且碳价为每吨30美元，则该船本次航行的CO₂排放成本将高达20万美元。这不是一笔小数目。例如，苏伊士运河在2019年对每艘途经的船征收的平均通行费估计为30万美元[13]，这一高昂的成本导致许多航运公司转而选择免费的好望角航线，据报道，苏伊士当局也因此每天损失1000多万美元[14]。类似地，碳排放成本可能直接导致船东和租船人选择投资降低燃料消耗的新技术，采用更清洁燃料（如甲醇和液氢），用更省油的船舶运营方式（如慢速航行）。

本文相关分析的数学表达如下。令 c 表示单位碳价， Θ 表示可用技术的集合， $d(\theta)$ 表示使用技术 $\theta \in \Theta$ 的年均固定成本， $f(\theta)$ 表示使用技术 θ 的年均油耗成本， $m(\theta)$ 表示使用技术 θ 的年均碳排放量。对于仅在欧洲经济区内航行的船舶，船舶经营人需要权衡使用一种技术的 $d(\theta)$ 和 $f(\theta)$ 。一旦海运被纳入欧盟ETS，船舶经营人就需要

进一步权衡上述三方面的支出。值得注意的是，更昂贵的技术通常可以带来更低的燃料成本及碳排放（否则没有人会使用）。假设一艘船仅消耗一种燃料（价格固定）且其碳排放全部来自于燃料使用，则年均碳排放量与年总成本之间是线性关系。假设任意两种技术的固定成本都不相同。对于 $\theta_1, \theta_2 \in \Theta$ ，如果 $d(\theta_1) > d(\theta_2)$ ，则 $f(\theta_1) < f(\theta_2)$ 且 $m(\theta_1) < m(\theta_2)$ 。对于 θ_1 和 θ_2 的年均碳排放总量和总成本的曲线可以如图1表示。

当燃料和（或）碳价上涨时，总成本（包括固定成本及燃料和碳成本）的增长率不同。转而采用具有高固定成本但低燃油和碳成本技术的年均碳排放量阈值将会降低，这意味着更多的船舶经营人将会选择更先进的技术去降低燃油消耗和CO₂排放。这种分析是对实际情况的简化，还有待综合长期投资决策和中、短期运营决策的进一步研究。这些决策问题通常涉及混合整数非线性随机优化模型，因为新技术投资是一个离散的决策变量，航速是一个连续的决策变量，燃油消耗率是关于航速的非线性函数，且未来单位碳成本是随机的。

同时，从事其他涉及航运排放监管计划的研究人员[9,10]指出ETS将削弱欧洲经济区内一些沿海航运服务的竞争力，因此其将被陆地运输方式（如公路或铁路）取代。由于需要运输的货物总量是固定的，而陆基运输方式每单位运输负荷产生的CO₂排放量比海运要高得多[3]，这种运输方式的改变反而会增加CO₂排放。因此，经验数据对于建立模型来分析托运人的运输方式选择行为至关重要，这将为承运人做出服务设计的决策和政府制定促进绿色航运的政策提供信息和指导。

2.3. 将航运纳入 ETS 的第二种运作方式对班轮运输服务设计的影响

如果第二种运作方式被实施，除了以上讨论的促进采用绿色航运技术和运输方式转变的两种可能后果之

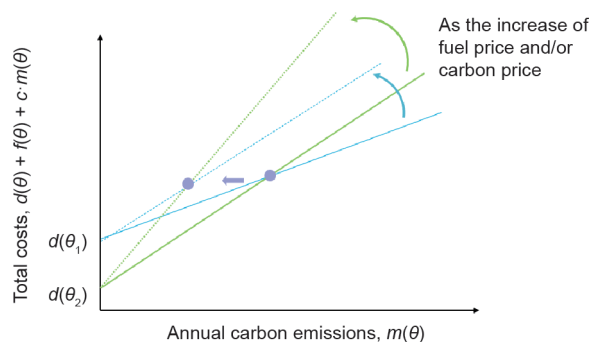


图1. 总成本和年均碳排放总量之间的关系。

外，对航运公司还有另外两个值得注意的潜在影响如图2所示。

第一，对于航运公司而言，苏伊士运河航线将变得比好望角航线更有吸引力。由于苏伊士运河征收高昂的通行费，且由于新冠肺炎（COVID-19）流行使得航运承载能力大、燃油价格低，目前航运公司往往选择免费的好望角航线。然而，好望角航线比苏伊士运河航线长得多。例如，如果途经苏伊士运河，鹿特丹和新加坡之间的距离是8288 n mile（1 n mile = 1.852 km），而途径好望角则为11 755 n mile。因此，选择好望角航线将消耗更多的燃油，进而增加碳排放，从而增加航行成本。这种情形在图2中用蓝色和绿色线表示。图2的实线部分表示没有碳排放成本的情况，此时好望角路线的花费小于苏伊士运河路线。但是，当航运被纳入ETS产生碳排放成本后，如图2中绿色和蓝色虚线所示好望角航线的总成本将可能大于苏伊士运河航线的总成本。好望角航线对船舶经营人的优势也由此被削弱，并也可能导致CO₂排放量减少。因此，航运公司将需要重新评估是否需要额外的船只来运营途经好望角的航运服务（因为需要航行更长的时间）。

第二，经营亚欧服务的集装箱运输公司可能会选择重新设计其航线以包括中东、土耳其或北非的港口。例如，从新加坡直接到鹿特丹的航程为8288 n mile（经过苏伊士运河），碳排放成本可能高达20万美元。如果该船不是直接从新加坡开往鹿特丹，而是先从新加坡开往塞得港（埃及），再从那里开往鹿特丹，它只需支付从塞得港开往鹿特丹的碳排放费用。从塞得港到鹿特丹的距离为3274 n mile，因此碳排放成本仅为8万美元。该

航程所节省的12万美元足以说明在此服务中增加一个停靠港是合理的。类似地，集装箱运输公司在亚欧航线服务中可以不再访问西欧的主要港口（如勒阿弗尔、安特卫普、鹿特丹、不来梅哈芬和汉堡），而是可以选择重新设计其中一些航线从而访问更靠近亚洲的港口，如比雷埃夫斯（希腊）和巴塞罗那（西班牙）以降低碳排放成本。这种情形在图2中用红色虚线表示。如果路线上包括中东、土耳其或北非的过境港，则从始发港到过境港的运营成本和苏伊士运河的通行费都可以被视为固定成本。在这种情况下，碳排放成本被降低了，因为与碳排放成本相关的总航程变短了，该航程的总成本也将低于苏伊士运河航线和好望角航线的成本。因此，建议航运公司开始联系他们以前从未考虑过的中东、土耳其或北非的港口，以便一旦海运被纳入欧盟ETS可以迅速调整其服务。

值得一提的是，集装箱在从出发港到目的港之间经常在不同航线服务的船舶之间转运（类似于乘客换乘不同路线的公交车）。因此，重新设计班轮运输服务将影响集装箱运输公司或航运联盟的整个航运服务网络，导致整个航运网络都需要被重新设计。班轮运输网络设计问题一直是国内外研究的热点[15]；然而，由于其强非确定多项式时间（non-deterministic polynomial-time, NP）难的属性，目前还没有提出有效的求解算法。同时，将航运纳入欧盟ETS并不直接影响跨太平洋服务或亚洲内部航线服务，这一事实可以用来设计高效的算法帮助航运公司实现高质量的班轮运输网络设计。

上述分析对航运公司管理有两点启发：第一，一旦欧盟立法生效ETS，正在谈判租用额外船只经营途径好

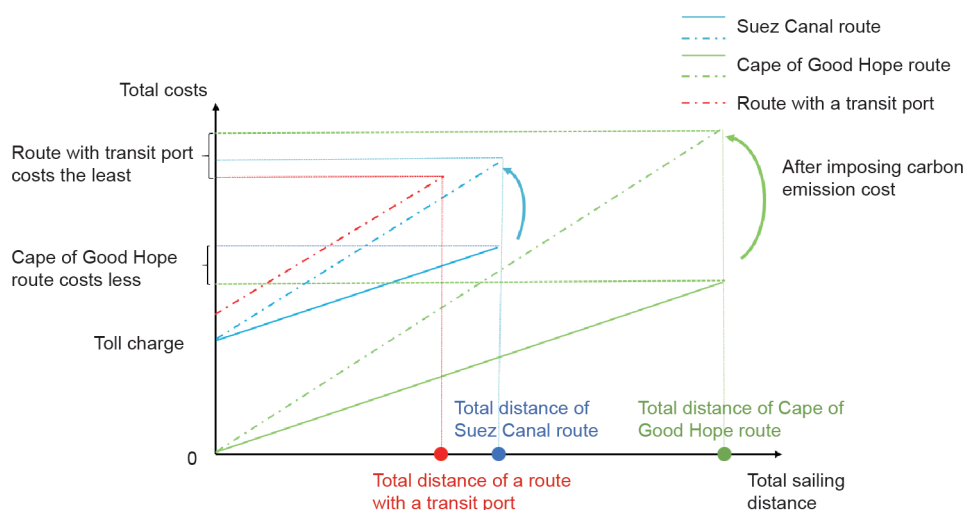


图2. 总花费与总航行距离的关系。

望角的航线的航运公司应当重新审查这一决策[†]；第二，建议航运公司开始联系以前没有考虑过的中东、土耳其和北非的港口，以便在海运被纳入欧盟ETS后能够迅速调整其服务。

致谢

本研究得到国家自然科学基金（72071173、71831008、72025103）的资助。

References

- [1] United Nations Conference on Trade and Development. Review of maritime transport 2020 [Internet]. Geneva: United Nations; 2020 [cited 2020 Dec 7]. Available from: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020_en.pdf.
- [2] Faber J, Hanayama S, Zhang S, Pereda P, Comer B, Hauerhof E, et al. Reduction of GHG emissions from ships. Fourth IMO GHG Study 2020. Final report. London: International Maritime Organization; 2020 Jul. Report No.: IMO doc MEPC 75/7/15.
- [3] International Maritime Organization. Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships. Report. London: International Maritime Organization; 2018. Report No.: IMO doc MEPC 72/17/Add.1, Annex 11.
- [4] The European Parliament and the Council of the European Union. Regulations on the monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport. Regulation. Strasbourg: The European Parliament; 2015 Apr. Regulation No.: EU2015/757.
- [5] European Parliament. Parliament says shipping industry must contribute to climate neutrality [Internet]. London: European Parliament; 2020 [cited 2020 Oct 18]. Available from: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20200910IPR86825/parliament-says-shipping-industry-must-contribute-to-climate-neutrality>.
- [6] Lagouvardou S, Psaraftis HN, Zis T. A literature survey on market-based measures for the decarbonization of shipping. Sustainability 2020;12(10):3953.
- [7] Bouman EA, Lindstad E, Riialand AI, Strømman AH. State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping—a review. Transp Res Part D Transp Environ 2017;52:408–21.
- [8] Metzger D, Schinas O. Fuzzy real options and shared savings: investment appraisal for green shipping technologies. Transp Res Part D Transp Environ 2019;77:1–10.
- [9] Zis T, Psaraftis HN, Panagakos G, Kronbak J. Policy measures to avert possible modal shifts caused by sulphur regulation in the European Ro-Ro sector. Transp Res Part D Transp Environ 2019;70:1–17.
- [10] Zis T, Psaraftis HN. Operational measures to mitigate and reverse the potential modal shifts due to environmental legislation. Marit Policy Manage 2019;46 (1):117–32.
- [11] Gu Y, Wallace SW, Wang X. Can an Emission Trading Scheme really reduce CO₂ emissions in the short term? Evidence from a maritime fleet composition and deployment model. Transp Res Part D Transp Environ 2019;74:318–38.
- [12] Zhen L, Wu Y, Wang S, Laporte G. Green technology adoption for fleet deployment in a shipping network. Transp Res Pt B Methodol 2020;139:388–410.
- [13] Marine Insight. New Suez Canal transit tolls during 2020 [Internet]. Bangalore: Marine Insight; 2020 [cited 2021 Jan 2]. Available from: <https://www.marineinsight.com/shipping-news/new-suez-canal-transit-tolls-during-2020/>.
- [14] Theloadstar. Lines using cheaper Cape of Good Hope route will cost Suez Canal \$10m; 2020 [cited 2021 Jan 2]. Available from: <https://theloadstar.com/lines-using-cheaper-cape-of-good-hope-route-will-cost-suez-canal-10m/>.
- [15] Meng Q, Wang S, Andersson H, Thun K. Containership routing and scheduling in liner shipping: overview and future research directions. Transport Sci 2014;48(2):265–80.

[†]注意，航运公司在做该决策时不应该只比较好望角航线和苏伊士航线，而是应该同时考虑到所有服务于欧亚线路的船只都可能会减速行驶（如采用减速航行）来降低碳排放和碳成本，并且减速航行需要更多的船来维持原有的服务水平。