

“双碳”目标下中国航运业绿色转型展望

张艳^{1,2}, 钱浩祺³, 黎泉⁴

1. 复旦大学环境科学与工程系, 上海 200433
2. 上海市能源与碳中和战略研究院, 上海 200433
3. 复旦大学全球公共政策研究院, 上海 200433
4. 大连海事大学航海学院, 大连 116086

摘要 介绍了国际海事组织(IMO)对航运业减少温室气体的战略目标,结合近年来航运数据分析了中国和其他环西太平洋港口货物吞吐量、航运业能源消耗情况,以及中国12海里水域SO₂、NO_x等船舶大气污染物和温室气体CO₂排放量。研究发现,中国及环西太平洋地区的航运量稳中有升,2021年中国船运能源消耗增长率达5.8%。2018—2020年,随着中国船舶排放控制区政策和IMO全球低硫燃油政策的实施,船舶排放的SO₂减排显著,然而随着船舶活动量的增长,NO_x和CO₂排放量仍在持续增长,因此中国航运业的绿色转型对NO_x和CO₂的协同减排意义重大。基于中国航运业的排放现状及国际绿色航运走廊的建设背景,展望了中国航运业未来绿色转型路径。

关键词 碳达峰碳中和;航运业;二氧化碳;氮氧化物;绿色转型

航运业是全球贸易和世界经济的重要支撑,也是最为经济、节能的运输方式,承担了约80%的全球货运量和价值约70%的货物运输任务。近年来,全球航运业呈上升趋势,根据克拉克森的调查显示,海运贸易以每年约4%的速度稳步增长,即使2020年受疫情影响,仍表现出强劲韧性,并在疫情冲击过后快速回升,散货船收益达到10年来的最高水平^[1]。2018年船舶温室气体(GHG)排放量约占全球排放总量的2.89%,与2013/2014年相

比,全球船舶GHG排放量已增长了9.6%,国际航运船舶增长了5.6%,到2050年这一排放量可能增长至2008年排放量的90%~130%^[2]。

中国的航运业发展迅速,目前中国已经是名副其实的航运大国:年造船产能达到6000万载重吨,位列全球第1;海运量世界占比达到26%,注册运力1.8亿载重吨,分别位列全球第1和第2;全球前20大货物吞吐量的港口,中国占15个,其中7个位于前10。

收稿日期:2024-01-03;修回日期:2024-06-20

基金项目:国家自然科学基金面上项目(42077195)

作者简介:张艳,教授,研究方向为海岸带大气环境和气候变化,电子信箱:yan_zhang@fudan.edu.cn

引用格式:张艳,钱浩祺,黎泉.“双碳”目标下中国航运业绿色转型展望[J].科技导报,2024,42(19):66-72;

doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2024.02.00238

随着航运业的不断发展,船舶排放大气污染物问题也逐渐受到研究者的关注。研究表明,船舶CO₂排放量占全球人为CO₂排放量的3%^[3]。除带来大量温室气体排放外,船舶也是重要的大气污染源,NO_x和SO₂排放量分别占到人为源的20%和12%^[4]。2018—2020年,中国和西太平洋地区对船舶燃油均实施了更加严格的限制政策^[5]。低硫燃油政策的逐步实施对船舶活动和船舶大气污染排放产生了较大影响,中国沿海SO₂排放控制也取得显著成效^[6-12]。

近年来,为推动航运业的低碳绿色化发展,以航运企业为代表的多元市场主体开展了一系列探索,多措并举以推动绿色航运发展。2021年联合国气候变化框架公约第二十六次缔约方大会期间,超20个国家联合签署了《建设绿色航运走廊的克莱德班克宣言》,旨在2个及以上的港口之间打造零碳航线。2022年1月,上海港和洛杉矶港共同倡

议建设绿色航运走廊。至2023年底,全球已设立国际绿色航运走廊44条^[13-14]。在“双碳”目标下,航运业的绿色转型战略和路径极其重要。本文主要聚焦国际背景下中国航运业能源消耗、排放现状的分析,并提出绿色转型的建议。

1 IMO对航运业的降碳战略目标

国际海事组织(IMO)一直致力于推动航运业的温室气体减排工作,将降低船舶碳排放列为重点管理措施。1997年以来,IMO制定了一系列强制性规则和指导性文件,从技术和营运2个方面促进船舶能效水平的提升。2023年7月7日,IMO在海上环境保护委员会第80届会议(MEPC 80)上通过了“2023年IMO船舶温室气体减排战略”(以下简称“战略”),见图1。

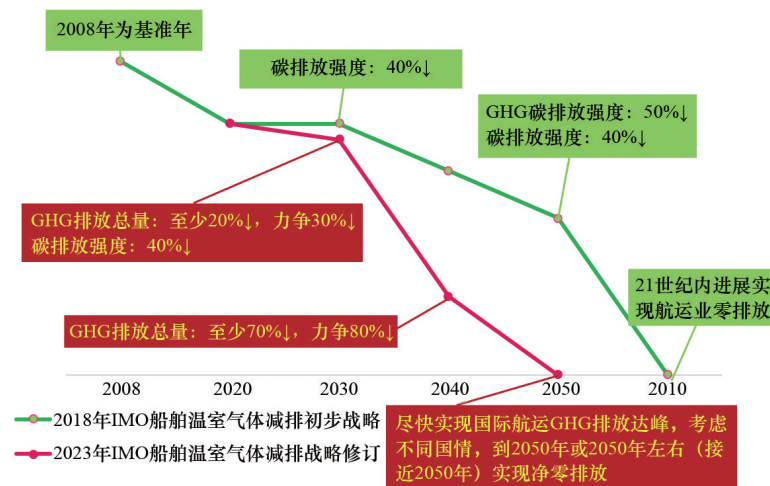


图1 2023年船舶温室气体减排战略与2018年初步战略对比

战略从愿景目标、减排力度、指导原则、不同阶段的减排措施和影响等方面对航运业应对气候变化的行动作出总体安排,是全球航运业为应对气候变化制定的温室气体减排目标^[15]。战略的减排量化目标如下。

1) 国际航运碳强度下降。与2008年相比,到2030年将国际航运中每单位运输的CO₂排放量平均至少减少40%。

2) 增加采用零或接近零温室气体排放的技术、燃料和/或能源。到2030年,零/近零温室气体

排放技术、燃料和/或能源使用占比至少达到5%,并力争达到10%。

3) 国际航运温室气体排放量在接近2050年前后达到净零排放。国际海运温室气体排放尽快达峰,并考虑到不同国情,在接近2050年前后达到净零排放。同时根据《巴黎协定》第2条规定的长期控温目标,努力按照愿景的要求逐步淘汰这些排放。为了实现国际海运温室气体净零排放,战略还设置了指示性校核点。(1) 到2030年,使国际海运的年温室气体排放总量比2008年至少减少20%,

力争减少30%;(2)到2040年,使国际海运的年温室气体排放总量比2008年至少减少70%,力争减少80%。

与2018年IMO船舶温室气体减排初步战略相比,2023年战略不管从GHG排放总量还是碳排放强度都进行了大幅提升,对IMO降碳是一个里程碑式的发展,开启海上脱碳的新篇章。

4) IMO将制定“一揽子”中期减排措施。为实现IMO制定的减排目标,IMO已经着手制定包括技术要素(即“目标型船用燃料温室气体强度标准”)和经济要素(即“船舶温室气体排放碳定价机制”)的“一揽子”中期减排措施。这些中期措施计划可能在2025年下半年审议通过,于2027年生效实施。

技术要素的方向比较明确,为“目标型船用燃料温室气体强度标准”。根据目前备选方案,未来的船用燃料温室气体强度标准与欧盟的Fuel EU Maritime(欧盟海运燃料条例)较为相似,即对船用燃料(包括能源、技术等)的温室气体强度设置逐步收紧的强制性限值约束。

相比之下,经济要素的方向则比较笼统,仅明确将“以船舶温室气体排放碳定价机制”为基础,但并未指明具体形式。根据目前的备选方案,经济要素既有可能仅包括强制性燃料标准的灵活履约方

式(例如高标准燃料的盈余额度转让和低标准燃料的基金摊款),也有可能同时实施温室气体排放税、替代燃料奖励返还等机制。

此外,经济性措施实施过程中产生的资金收益应当如何分配和使用,尤其是能否用于脆弱发展中国家的减缓一般性气候影响(例如气候灾害救援、粮食安全等)也存极大争议^[15]。

2 中国港口和船舶货物吞吐量演变趋势

本研究船舶吞吐量数据分别来自中国交通运输部(Ministry of Transport of the People's Republic of China)^[16]、新加坡海事及港务管理局(Maritime and Port Authority of Singapore)^[17]、韩国统计信息院(Korea Statistical Information Service)^[18]官方数据。2013—2021年环西太平洋地区主要国家或港口的货物吞吐量统计如表1所示。在环西太平洋地区,中国占据了包括上海港、宁波—舟山港、深圳港、广州港、青岛港、香港港、天津港在内的多个核心港口,因此其货物吞吐量在整个西太平洋地区平均占比可达86.6%,具有至关重要的地位。韩国和新加坡的货物吞吐量分别平均占比8.7%和4.1%。

表1 2013—2021年环西太平洋重点地区船舶货物吞吐量 (亿t)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
中国	106.5	111.9	114.6	118.3	126.4	133.4	139.5	145.5	155.5
新加坡	5.6	5.8	5.8	5.9	6.3	6.3	6.3	5.9	6.0
韩国	11.2	11.8	12.2	12.4	13.1	14.1	14.3	12.8	13.5
总体	124.2	130.4	133.4	137.5	146.8	154.7	160.9	165.0	175.9

总体来看,2014—2021年环太平洋海域的船运发展整体呈现稳中向好的趋势,货物吞吐量一直处于平稳增加趋势。在2015和2016年,全球经济增速放缓,原油、农产品、铁矿石等大宗商品价格均有所下跌,也对航运业造成了一定影响。在2019—2020年,新冠疫情影响了包括中国、韩国、新加坡在内的环太平洋地区,这几年的货物吞吐量增速有所下降。

中国地区作为环太平洋区域的重要地区,其货物吞吐量变化与整个地区的变化相似,在2020年受到疫情冲击时仍基本保持了原有的增长态势。新加坡地区在2015年的变化较大,货物吞吐量减少了0.93%,且在2018年后一直处于较低增速,同时也受到了新冠疫情的较大冲击,导致2019年货物吞吐量减少了5.71%。韩国地区在2018年及以前的变化趋势与总体趋势相似,但2020年受到疫

情的冲击最大,相较于2019年货物吞吐量减少了10.70%。各国家地区船舶货物吞吐量的变化特征有所差异,但总体趋势相似,且由于占比最高的中

国一直处于增长趋势,影响着整个环西太平洋地区的持续增长(表2)。

表2 中国与环西太平洋地区船舶货物吞吐量年变化率对比

(%)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
中国	5.06	2.47	3.20	6.88	5.54	4.54	4.29	6.84
新加坡	3.63	-0.93	3.03	5.80	0.39	-0.57	-5.71	1.41
韩国	5.47	2.71	2.12	5.62	7.12	1.65	-10.70	5.65
总体	5.01	2.31	3.08	6.71	5.43	4.02	2.51	6.54

3 中国航运业能源消耗历史和现状及全行业占比

本研究全球分地区国际航运能源消耗量数据来自国际能源署(International Energy Agency, IEA)的世界能源平衡表(World Energy Balances)数据库^[9],该数据库中部分地区的国际航运能源消耗量数据最早可追溯至1960年,本研究所采用的样本数据为1990—2021年。中国国内水运旅客周转量和水运货物周转量数据则来自《中国交通年鉴2022》^[20],所采用的样本数据同样为1990—2021年。

全球国际航运能源消耗量自1990年的1.16亿t油当量增长至2021年的2.04亿t油当量,年均增长率为1.41%。图2描述了全球主要经济体的国际航运能源消耗量的变动趋势,可以看到,全球国际航运能源消耗量的主要增长动力来源于亚洲地区,其中新加坡的国际航运能源消耗量自1990年的1059万t油当量增长至2021年的4830万t油当量,年均增长率为3.77%,2021年占全球比重达到了

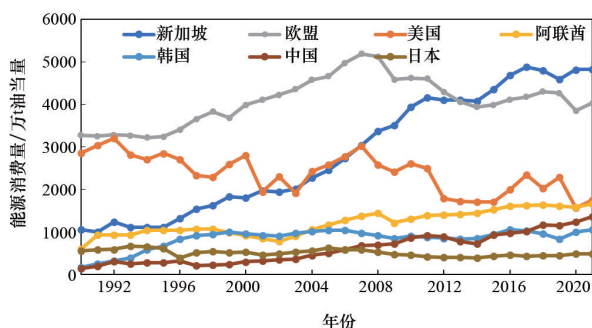


图2 主要经济体国际航运能源消耗量
(数据来源:IEA World Energy Balances;
中国数据仅包括中国大陆)

23.69%。2021年,虽然中国的国际航运能源消耗量占全球比重仅为6.66%,排名第5,但是增长趋势在主要经济体排名最高,其国际航运能源消耗量自1990年的134万t油当量快速增长至2021年的1357万t油当量,年均增长率为5.80%。

相比国际航运能源消耗量,中国的国内航运能源消耗量在绝对量以及占全球比重两方面均呈现出高速增长态势。图3描述了全球主要经济体国内航运能源消耗量的变动趋势,可以看到,除了中国以外的全球主要经济体,其国内航运能源消耗量在长时间内保持相对稳定的趋势。中国的国内航运能源消耗量在1990年为251万t油当量,占全球比重为7.79%,但是到2021年为止,能源消耗量已增长至2526万t油当量,年均增长率为5.80%,占全球比重上升到了44.39%。值得一提的是,中国的国际国内航运能源消耗量在1990—2021年间增速保持了高度的一致,实现了平衡增长。

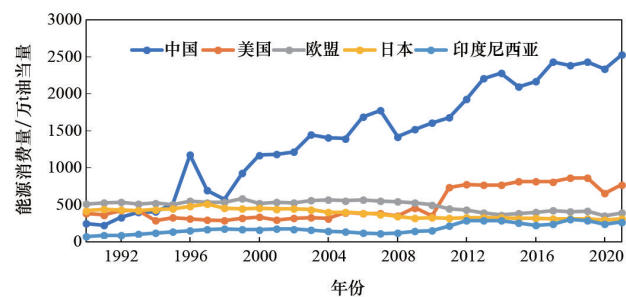


图3 主要经济体国内航运能源消耗量
(数据来源:IEA World Energy Balances;
中国数据仅包括中国大陆)

中国航运业能源消耗量快速上升的主要原因,来自于经济高速增长下的货物运输需求快速上升。

图4描述了中国水运旅客周转量和水运货物周转量的变动趋势,可以看到,中国水运旅客周转量自1990年的165亿人km下降到2021年的33亿人km,年均增长率为-3.84%。与此同时,水运货物周转量自1990年的11592亿t·km上升至2021年的115578亿t·km,年均增长率为5.77%,与航运业能源消耗量年均增长率保持一致,两者保持高度正相关关系(图5)。航运业能源消耗量的持续增长对船舶大气污染物和温室气体排放的控制带来挑战。

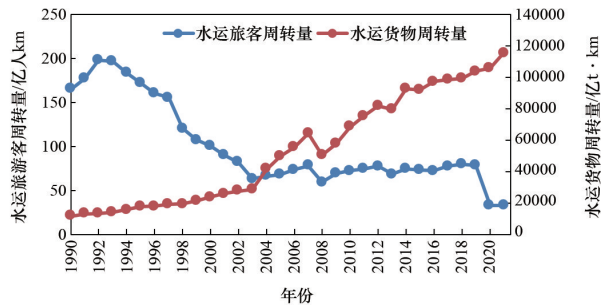


图4 中国水运旅客周转量和水运货物周转量
(数据来源:《中国交通年鉴2022》)

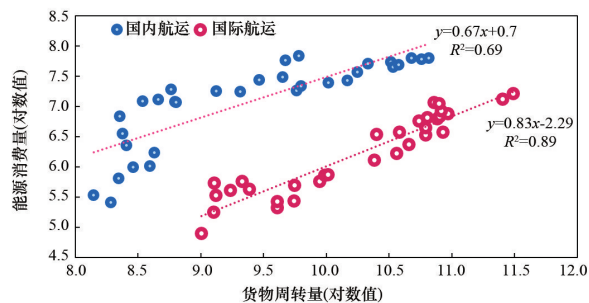


图5 中国水运货物周转量与能源消费量相关关系
(数据来源:《中国交通年鉴2022》)

4 排放控制区政策演变及航运大气污染物和碳排放现状

近年来,低硫燃油政策的逐步实施对船舶硫氧

化物减排产生了显著影响。2018—2020年,中国和西太平洋地区均实施了更加严格的限制政策:中国的低硫燃油政策以排放控制区(domestic emission control area, DECA)的形式分3步施行:2018年1月1日起,船舶进入排放控制区港口靠岸停泊期间,需使用含硫量不高于0.5% m/m的燃油,即DECA 1.0政策;2019年1月1日起,排放控制区范围扩大至全国沿海周边约12海里范围和长江、西江两条内河干线,船舶进入船舶排放控制区范围内需使用含硫量不高于0.5% m/m的燃油,即DECA 2.0政策;2020年1月1日起,海船进入内河控制区需使用含硫量不高于0.1% m/m的燃油。同样自2020年起,国际海事组织要求船舶在海域航行时不得使用硫含量超过0.5% m/m的燃油。

2020年IMO发布的新低硫燃油政策对西太平洋海域船舶排放的SO₂产生了显著的影响。据袁宇鹏^[21]估算,船用燃油硫含量从原有的3.5%硫含量限制降低到0.5%硫含量限制,直接导致中国沿海12海里范围内的船舶SO₂总排放量从2018年的42万t大幅下降到2020年的9.2万t,下降了78%,接近但略低于燃料硫含量的下降比例(表3)。由于2019年中国DECA政策的先行实施,中国周边海域船舶的SO₂排放量提前得到了减排。

目前航运业SO₂的排放已得到较大程度的控制,沿海地区大气SO₂浓度已下降到较低水平。然而,船舶的NO_x排放和CO₂排放随航运量的增长呈现逐年上升趋势。2021年中国沿海12海里范围内的NO_x和CO₂排放量分别为130万t和5707万t(表3)。因此,未来航运业的持续减排对中国NO_x和CO₂的排放控制具有重要的意义。

表3 2013—2021年中国沿海12海里范围内船舶排放污染物清单

(万t·a⁻¹)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
SO ₂	14	19	21	26	29	42	8.7	9.2	8.1
NO _x	44	57	63	79	87	122	126	138	130
PM _{2.5}	2.2	2.9	3.3	4.1	4.6	6.5	1.6	1.9	1.8
CO ₂	1833	2359	2601	3306	3613	5007	5191	5830	5707

注:排放数据基于船舶自动识别系统AIS数据和船舶排放模型计算得来^[4,21]。

5 结论

当前中国航运业持续迅速发展,为推进“双碳”目标实现进程,应大力促进中国航运业绿色转型。

一是落实国际社会应对IMO船舶温室气体减排战略的新要求。2023年7月,IMO重新修订船舶温室气体减排战略,明确到2050年前后实现温室气体净零排放。国际绿色航运走廊建设背景也为中国航运业绿色转型提供了良好的契机。在此背景下,绿色航运走廊的提出和发展是对航运碳减排工作的有效举措。同时,在美国、英国及欧盟等部分发达国家或地区率先推动和实施下,绿色航运走廊建设具备了较强的执行力和影响力,未来有可能成为国际绿色低碳发展领域的行动指南或行业约束标准。

二是对国内船舶排放控制区政策进行持续升级,加强温室气体和大气污染物尤其是NO_x的协同减排。随着选择性脱硝(selective catalytic reduction, SCR)设备的全面安装及更高的Tire标准的实施,船舶NO_x的减排总量预计可以减少85%以上。通过碳捕集技术或者非化石能源的新能源使用加强CO₂减排,结合绿色航运走廊契机打造“近零碳”示范航线。

三是考虑区域差异性,国家—区域—港口分层开展绿色航运走廊建设工作,提供港航业开展低碳转型与零碳创新的合作契机。绿色航运走廊建设是一项系统工程,需要港航物流产业链上所有利益相关方联合制定脱碳路线图,加大零碳排放航运业务投资,按照航线零碳排放目标,广泛动员各方力量,合力推动低碳与零碳技术在行业的广泛应用,填补相关配套基础设施建设的空白,加速港航物流企业的低碳能源转型进程。

四是推动国际港航产业链供应链持续迭代升级。燃料政策被政府视为推进绿色航运走廊的关键工具,船用燃料的低碳、零碳转型同时将推动全球船舶建造和拆解市场的技术革新。建设港口区域内的能源基础设施,有助于优化航运燃料加注体系与港口现代能源体系,也将深刻改变现有国际海运航线网络布局。

参考文献 (References)

- [1] Clarksons. Covid-19: Shipping impact assessment[R]. London: Clarkson Research Services Limited, 2020.
- [2] IMO. IMO第四次温室气体减排研究[R]. London: International Maritime Organization, 2020.
- [3] 张爽. IMO 2023年船舶温室气体减排战略全面引领未来[J]. 中国船检, 2023(8): 11-15.
- [4] Yuan Y P, Zhang Y, Mao J B, et al. Diverse changes in shipping emissions around the Western Pacific ports under the coeffect of the epidemic and fuel oil policy[J]. Science of the Total Environment, 2023, 879: 162892.
- [5] 章强, 郑中琪. 中国船舶排放控制区政策的发展演变研究[J]. 大连海事大学学报(社会科学版), 2020, 19(3): 67-72.
- [6] 田明. 国际海事组织船舶燃油硫排放控制政策影响浅析[J]. 国际石油经济, 2017, 25(5): 77-82.
- [7] 田明. 浅析IMO硫排放控制对全球船供油行业影响[J]. 中国远洋航务, 2017(4): 58-61.
- [8] 兰金金, 李碧珍. 政府监管模式对航运企业低硫转型路径选择的影响研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2022, 38(6): 49-59.
- [9] Ye G Q, Zhou J Y, Yin W W, et al. Are shore power and emission control area policies always effective together for pollutant emission reduction? An analysis of their joint impacts at the post-pandemic era[J]. Ocean & Coastal Management, 2022, 224: 106182.
- [10] Anastasopoulos A T, Sofowote U M, Hopke P K, et al. Air quality in Canadian port cities after regulation of low-sulphur marine fuel in the North American Emissions Control Area[J]. Science of the Total Environment, 2021, 791: 147949.
- [11] Ausmeel S, Eriksson A, Ahlberg E, et al. Ship plumes in the Baltic Sea Sulfur Emission Control Area: Chemical characterization and contribution to coastal aerosol concentrations[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2020, 20(15): 9135-9151.
- [12] Zhang Y, Zhou R, Chen J H, et al. The effectiveness of emission control policies in regulating air pollution over coastal ports of China: Spatiotemporal variations of NO₂ and SO₂[J]. Ocean & Coastal Management, 2022, 219: 106064.
- [13] Global Maritime Forum. Annual progress report on green

- shipping corridors[EB/OL]. (2023-01-01)[2024-01-01]. <https://www.globalmaritimeforum.org/publications/annual-progress-report-on-green-shipping-corridors>.
- [14] 毕成成. 国际绿色航运走廊发展现状与启示[J]. 世界海运, 2023, 46(10): 1-5.
- [15] IMO Resolution MEPC 377(80). 2023 IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships[R]. London: International Maritime Organization, 2023.
- [16] 中华人民共和国交通部. 中华人民共和国交通部港口货物吞吐量统计[EB/OL]. [2024-01-03]. <http://english.mofcom.gov.cn/article/statistic>, 2024.
- [17] Maritime and Port Authority of Singapore. Data of port's cargo throughput[EB/OL]. [2024-01-03]. <https://www.mpa.gov.sg/who-we-are/newsroom-resources/research-and-statistics/port-statistics>, 2024.
- [18] South Korea Statistical Information Service. Data of port's cargo throughput[EB/OL]. [2024-01-03]. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=146&tblId=DT_ML-TM_1316&language=en&conn_path=I3, 2024.
- [19] IEA. World energy balances (2023 Edition)[R]. Paris: International Energy Agency, 2023.
- [20] 中华人民共和国交通运输部. 2018中国交通运输统计年鉴[M]. 北京: 人民交通出版社, 2020.
- [21] 袁宇鹏. 环西太平洋海域船舶大气污染物排放的时空演变特征[D]. 上海: 复旦大学, 2023.

Expectation of green transformation of shipping industry in China under carbon peaking and carbon neutrality goals

ZHANG Yan^{1,2}, QIAN Haoqi³, LI Quan⁴

1. Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China
2. Shanghai Institute for Energy and Carbon Neutrality Strategy, Fudan University, Shanghai 200433, China
3. Institute for Global Public Policy, Fudan University, Shanghai 200433, China
4. College of Navigation, Dalian Maritime University, Dalian 116086, China

Abstract It is of great significance to look into the future of the green transformation of shipping industry under the carbon peaking and carbon neutrality goals, also known as the "dual-carbon" goals. This study introduces the strategic objective of the International Maritime Organization (IMO) for reducing greenhouse gases in the shipping industry, analyzes the cargo throughput and energy consumption of shipping industry in China and other Western Pacific ports, and examines the emissions of CO₂ and air pollutants such as SO₂ and NO_x from ships within the 12 nm territorial waters of China. It is found that shipping volumes in China and the Western Pacific region were steadily increasing, with a growth rate of China's shipping energy consumption reaching 5.8% in 2021. From 2018 to 2020, the ship emission of SO₂ decreased significantly with the implementation of China's Ship Emission Control Area Policy and IMO's Global Low Sulfur Fuel Policy, while NO_x and CO₂ emissions continued to increase with the growth of ship activities. Therefore, green transformation of China's shipping industry is significant for coordinated reduction of NO_x and CO₂. Based on the current status of China's ship emissions and the background of the construction of international green shipping corridor, this paper concludes with an outlook on the future path of shipping industry's green transformation in China, hoping to provide a reference for strategies formulation for the green transformation of shipping industry in the context of the "dual-carbon" goals.

Keywords carbon peaking and carbon neutrality; shipping industry; CO₂; nitrogen dioxides; green transformation ●



(责任编辑 徐丽娇)