

文章编号:1000-4653(2025)02-0151-08

中国综合交通清洁低碳发展对策及 减排效果评估与展望

乔冰, 林晶晶

(交通运输部水运科学研究院, 北京 100088)

摘要:综合交通清洁低碳发展对于防控与缓解危害人类可持续健康发展的大气环境问题具有重大意义,为此依据主管部门公开的铁路、公路、水路、民航、城市等5种运输方式的统计数据、可持续发展报告、污染防治规划,分别设定了铁水联运、中欧班列、高铁客运、电子不停车收费(ETC)、车用燃料质量提升、港口效率提升、海运能效提升、船舶燃油质量提升、固液散货码头污染治理减排、民航节能减排能力提升、电动公交、轨道交通等12种关于清洁低碳发展的对策情景,提出了基于燃料法-运输能耗-排放因子-替代运输量的空气污染物及温室气体减排量计算模式和基于类比及统计分析等方法的12种对策情景减排量估算方法,根据估算的2013年以来的燃油及空气污染物和CO₂的减排量,对综合交通清洁低碳发展的成效进行了回顾,针对面临的问题与挑战对综合交通清洁低碳的发展做出了展望。

关键词:交通清洁低碳发展;减排量;空气污染物;温室气体;减排对策;计算模型

中图分类号:U116 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1000-4653.2025.02.019

Evaluation and outlook of countermeasures and emission reduction effectiveness on clean and low-carbon development of China's comprehensive transportation

QIAO Bing, LIN Jingjing

(China Waterborne Transport Research Institute, Beijing 100088, China)

Abstract: Clean and low-carbon development in the transportation sector is crucial for preventing, controlling and mitigating atmospheric environmental problems that threaten sustainable human health. Based on statistical data, sustainable development reports and pollution prevention and control plans for the five modes of transport, including railways, highways, waterways, civil aviation and urban transport, released by the relevant authorities, we have introduced rail-water intermodal transport, China-Europe express trains, high-speed rail passenger transport, Electronic Toll Collection (ETC) and 12 strategies to improve the quality of vehicle fuel, including enhancing port efficiency and maritime energy efficiency. Ship fuel quality; pollution control and emission reduction at solid and liquid bulk cargo terminals; enhancing civil aviation's energy conservation and emission reduction capabilities; electric public transport; and rail transit. A calculation model for reducing air pollutants and greenhouse gas emissions was proposed based on the fuel method, transportation energy consumption, emission factors and alternative transportation volume. Twelve scenario emission reduction estimation methods based on analogy and statistical analysis were also proposed. Based on estimated reductions in fuel, air pollutants and CO₂, the effectiveness of clean and low-carbon development in comprehensive transportation has

收稿日期:2024-05-09

基金项目:能源基金会“中国可持续能源交通项目组”船舶与港口空气污染防治1期(G-1308-18847)

作者简介:乔冰(1959—),女,研究员,博士,研究方向为环境科学、航运生态保护与污染防治、交通运输碳减排与碳中和。E-mail:qiaobing@wti.ac.cn

通信作者:林晶晶(1986—),女,高级工程师,硕士,研究方向为水运物流、航海保障。E-mail:lj@wti.ac.cn

引用格式:乔冰,林晶晶.中国综合交通清洁低碳发展对策及减排效果评估与展望[J].中国航海,2025,48(2):151-158.

QIAO B, LIN J J. Evaluation and outlook of countermeasures and emission reduction effectiveness on clean and low-carbon development of China's comprehensive transportation[J]. Navigation of China, 2025, 48(2): 151-158. (in Chinese)

been reviewed since 2013. Prospects for the development of clean and low-carbon comprehensive transportation have been established in response to the problems and challenges we face.

Key words: clean transportation and low-carbon development; emission reduction; air pollutants; greenhouse gases; emission reduction measures; computational model

2019年9月19日,中共中央和国务院印发了《交通强国建设纲要》,其中描绘的两阶段发展目标^[1]包括:到2035年现代化综合交通体系基本形成,人民满意度明显提高,支撑国家现代化建设能力显著增强,旅客联程运输便捷顺畅,货物多式联运高效经济,智能、平安、绿色、共享交通发展水平明显提高,城市交通拥堵基本缓解;到21世纪中叶,全面建成人民满意、保障有力、世界前列的交通强国。从上述发展目标可以看出,旅客和货物运输的高效、经济、安全、绿色是发展的总基调。

综合交通包括铁路、公路、水路、民航、邮政和城市等多种运输方式及其便捷的互联互通,其所造成的大气污染物和温室气体排放主要来自运载工具发动机的燃料燃烧,以及散货物料在装卸转运中的挥发逸散、运输低效造成的高能耗等。根据国际能源机构(International Energy Agency, IEA)的报告^[2],2018年电热生产、交通运输、制造建筑行业的碳排放量分别达到139.8、82.58、61.58亿吨,分别占全球当年碳排放量的41.7%、24.6%、18.4%。鉴于交通运输行业的排放量占到排放总量的约1/4,在我国的占比尽管较低,却呈持续增长态势^[3],因此无论对于全球还是我国而言,综合交通清洁低碳发展对于防控与缓解危害人类可持续健康发展的大气环境问题均具有重大意义,多年来受到政府、企业、环保工作者和民众的广泛关注。

本文在笔者长期开展中国船舶和港口大气污染排放控制研究的基础上^[4-14],依据2021年10月14日由交通运输部发布的《中国可持续交通发展报告》^[15](简称《报告》),回顾了近10年来中国综合交通在清洁低碳发展方面实施的代表性对策,提出了基于燃料法-运输能耗-排放因子-替代运输量的空气污染物及温室气体减排量计算模型和基于类比及统计分析等方法的12种对策情景减排量估算方法,结合交通运输部官网公布的运输完成量和节能减排等统计数据,分析相应的减排成效等进展,并展望未来发展面临的重大挑战,提出相应的综合交通清洁低碳发展对策建议。

1 减排对策和成效估算方法

1.1 代表性对策与成效的回顾分析

本文关于中国综合交通清洁低碳发展的代表性

对策回顾分析主要取材于《报告》、交通运输部官网公开的统计公报、统计数据。笔者针对运载工具发动机的燃料燃烧、散货物料装卸转运逃逸、运输低效高能耗等大气排放问题,分不同运输方式从《报告》中选取了代表性对策,对应定性描述了其主要防控成效(见表1),其中引用了《报告》中估算的关于电子不停车收费(Electronic Toll Collection, ETC)节能、靠港船舶使用岸电、船舶排放控制区三项对策的减排量。在此基础上,采用下述的减排量计算模式、类比及统计分析等方法,回顾分析了2013~2021年的空气污染物及温室气体减排量。

1.2 减排量计算模型

本文基于燃料法-运输能耗-排放因子-替代运输量等理论,建立了综合交通空气污染物及温室气体减排量计算模型,详见式(1)~(2),其可通过不同年份和对策情景、不同运载工具的排放因子或其变化量,以及完成或替代的综合交通运输量的燃油消耗量,计算出代表性对策情景的减排量。

$$R_{i,j,k} = \sum_{l=0}^l (F_{i,k,l} \times C_{j,k,l} \times 10^{-6}) \quad (1)$$

$$C_{j,k,l} = E_{j,k,l} \times T_{j,k,l} \quad (2)$$

式中, $R_{i,j,k}$ 为第*j*类运载工具或设施第*k*年第*i*种空气污染物或温室气体减排量(t/a); $F_{i,k,l}$ 为第*k*年第*l*类对策情景第*i*种空气污染物或温室气体的排放因子(g/kg); $C_{j,k,l}$ 为第*j*类运载工具或设施第*k*年第*l*类对策情景的燃油消耗量(kg/a); $T_{j,k,l}$ 为第*j*类运载工具或设施第*k*年第*l*类对策情景的运输量或替代运输量(吨/年、公里/年、吨公里/年、人/年、人公里/年、车/年、车公里/年); $E_{j,k,l}$ 为第*j*类运载工具或设施第*k*年第*l*类对策情景的单位运输量能耗因子(kg/t、kg/km、千克/吨公里、千克/人、千克/人公里、千克/车、千克/车公里)。

1.3 类比及统计分析

为了充分利用笔者前期开展的中国船舶和港口大气污染排放控制研究成果,以便省去比较复杂的动力法船舶排放量计算模式和港口排放清单计算模式^[4,9],以及充分利用《报告》中关于ETC节能、靠港船舶使用岸电、船舶排放控制区三项对策的减排量成果,《“十四五”民航绿色发展专项规划》^[16]报告的民航减排成果、百度百科关于ETC发展状况的介绍^[17]、《船舶与港口污染防治专项行动实施方案

表1 《报告》中分不同运输方式的代表性对策与主要防控成效定性描述

Tab.1 Qualitative description of representative strategies and main prevention and control effects for different transportation modes in the Report

运输方式	《报告》中的代表性对策	《报告》页码	主要防控成效定性描述	《报告》减排量估算及相关指标状况摘录
铁路	铁路网络加快延伸;出行服务快速化便捷化;打造绿色高效的现代物流系统;新能源装备设施加快推广应用;加强铁路互联互通	P14;P21;P22~24;P53;P70~72	替代公路、民航、水路的运输量,相应减少排放	截至2020年底,国家铁路电气化率达到74.9%,动车组列车承担铁路客运量约70%;2020年完成集装箱铁水联运量超过680万TEU,2016年~2020年,年均增长23%;中欧班列自2011年累计开行超过4万列、通达欧洲23个国家的174个城市
公路	发展ETC;新能源装备设施加快推广应用;加强船舶和机动车大气污染治理;推动公路互联互通	P52;P53~54;P67;P72~73	ETC减少收费停车等待排放量;新能源汽车和清洁燃油减少尾气排放	仅因ETC减少车辆启停,日均节约燃油730.4t,减少CO、NO _x 、HC排放217.2、1.2、5.8t,年可减少能源消费2.4亿L,减少CO ₂ 排放量超过65万t
水路	自动化集装箱码头;新能源装备设施加快推广应用;推动船舶靠港使用岸电;加强船舶和机动车大气污染治理;加强海运互联互通;认真履行国际责任和义务;积极参与交通运输全球气候治理	P41~43;P53;P55;P66;P73~74;P76;P77	减少港口装卸排放;履行国际公约,清洁船舶燃油减少尾气排放	2020年靠港船舶累计使用岸电约23万次、231万h、5000万度,减排SO _x 、NO _x 、PM约720t,CO ₂ 3.5万t;排放控制区实施后,与2015年相比,2020年船舶SO _x 减排约61.4万t,PM减排约8.2t
民航	新能源装备设施加快推广应用;推进航空互联互通;积极参与交通运输全球气候治理	P53;P74;P76;P77	减少机场作业排放量	截至2020年底,飞机辅助动力装置(Auxiliary Power Units, APU)替代设施全面使用
城市	新能源装备设施加快推广应用;推动城市公共交通优先发展	P53;P84~88	轨道交通和新能源汽车减少尾气排放	截至2020年底,中国新能源公交车超过46万辆,占比66.2%,全国巡游出租车139.4万辆,其中新能源出租车13.2万辆

(2015—2020年)^[18]预期的污染防治目标,本文采用类比分析法估算不同年份的相应排放量,以及排放因子、能耗因子等计算参数。其中,动力法船舶排放量计算模式采用船舶平均运距计算进出中国不同港口的船舶巡航排放量;港口排放清单计算模式采用港口现场试验及类比法计算煤炭等干散货颗粒物逸散、石油化工等液体散货挥发性有机物(Volatile Organic Compounds, VOC)及光化学反应二次产物O₃和PM排放、集装箱集疏运尾气等大气污染物及温室气体排放量;2019年航空单位周转量油耗和CO₂排放量分别取0.285、0.898 kg/t·km,每客能耗和CO₂排放量较基线(2013~2015均值)下降15.8%和28.8%。

本研究针对铁路、公路、水路、民航、城市5种运输方式,分别设定了铁水联运、中欧班列、高铁客运、ETC、车用燃料质量提升、港口效率提升、海运能效提升、船舶燃油质量提升、固液散货码头污染治理减排、民航节能减排能力提升、电动公交、轨道交通12种对策情景,进行减排量估算,估算方法详见表2。

2 减排成效分析与展望

2.1 中国综合交通清洁低碳发展成效

2.1.1 节约及替代燃油消耗

按照表2不同运输方式和对策情景的代表性对策减排量估算方法,本文给出了铁水联运替代公路运输、中欧班列替代水运远航、高铁客运替代公路及

表2 不同运输方式和对策情景的代表性对策减排量估算方法

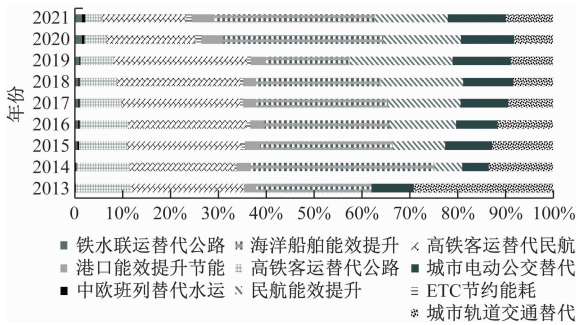
Tab.2 Representative emission reduction estimation methods for different transportation modes and countermeasures scenarios

运输方式	对策情景	减排量估算方法
铁路	铁水联运	将完成的铁水联运集装箱量(万 TEU)作为替代的港口集疏运货运量,平均运距取 180 km,单位集装箱货物质量 26 t,空箱率按 20% 计,公路货运能耗因子按公布的近年平均值 1.9 千克标准煤/百吨公里计
	中欧班列	将完成的中欧班列进出境列数(万列)作为替代的远洋货运量,每列按 50 TEU 计,平均远洋海运运距取 0.7 万 km,单位集装箱货物质量 26 t,空箱率按 20% 计,远洋运输能耗因子按公布的当年统计值计
	高铁客运	与 2012 年 9 706 亿人公里相比,将高铁多完成的客运量作为替代的公路民航旅客出行量(亿人公里),公路民航替代比例和运输里程取当年实际发生量
公路	ETC	ETC 使用率根据已知年份值及百度百科词条介绍情况类推,节约燃油量(万 t/年)按《报告》给出的已知年份节约燃油量(t/d)及不同年份使用率(%)类推
	燃料质量提升减排	根据燃油排放标准相关要求和车况确定不同年份的污染物排放因子,根据公布的机动车日均交通量和行驶量、公路货运和客运完成量和周转里程、城市交通公交电汽车完成量,估算因燃油质量提升的减排量
水路	港口效率提升	采用与 2012 年 3.0 t 标准煤/万 t 吞吐量相比,因港口效率提升而引起的能耗因子变量,以及实绩港口吞吐量,估算节约的燃油量及减排量
	海运能效提升	采用与 2012 年 6.26 吨标准煤/千吨海里相比,因远洋和沿海货运效率提升而引起的能耗因子变量,以及根据公布的海运周转量,估算节约的燃油量及减排量。平均沿海、远洋海运运距取 0.125、0.7 万 km
	船舶燃料质量提升减排	根据船舶燃料质量提升的国际公约和国内管控要求,确定不同年份内河、沿海和远洋船舶燃用含硫量 0.5% 的使用率(%),根据水运实绩运量,分别采用相应的排放因子计算排放量,与 2013 年的含硫量和详细排放清单成果相比较,计算减排量
	固液散货码头污染治理减排	根据交通运输部《关于印发船舶与港口污染防治专项行动实施方案(2015—2020 年)的通知》相关要求,估计不同年份固液散货码头污染治理减排率(%),根据港口固液散货实绩吞吐量,采用 2013 年排放清单成果类比估算排放量,再根据减排率估算减排量
民航	民航节能减排能力提升	根据民航局发布的《关于印发〈“十四五”民航绿色发展专项规划〉的通知》中给出的 2019 年单位周转量油耗及单客能耗下降率,按年度平均法估算与 2013 年相比的不同年份单客能耗下降率(%)及单位周转量油耗,CO ₂ 排放因子按 2019 年单位周转量 CO ₂ 排放量折算
城市	电动公交	根据公布的纯电动公交车占比(%),公共汽电车(万辆)及运营里程(亿公里),按年度估算替代化石燃料汽车的运营里程(亿公里),并根据燃油排放标准相关要求和车况确定的不同年份污染物排放因子,估算减排量
	轨道交通	根据公布的轨道交通乘客量(亿人)运营里程(亿列公里、亿车公里),按每列 6 节车厢,每车厢载客 200 人计算平均运距(km),估算替代化石燃料汽车的运营里程(亿公里),并根据燃油排放标准相关要求和车况确定的不同年份污染物排放因子,估算减排量

升节约油耗,城市电动公交替代汽车公交运输、城市轨道交通替代汽车公交运输的汇总(见图1a)及占比(见图1b),从图1中可以看出,2013~2021年9年中,因采取了上述综合交通清洁低碳发展的5种交通运输方式和9类代表性清洁低碳发展对策(其他3类对策成效分述于后节),在满足相同的旅客出行和货物运输需求的前提下,节约及替代燃油消耗约1.616亿t,类比《报告》公布的ETC减排数据粗略估算,在使用清洁能源的前提下分别可减少CO、NO_x、HC排放4 805.63、26.55、128.33万吨,在使用可再生能源的前提下可减少CO₂排放约6亿t。其中,按减排贡献大小排序的发展对策依次为:海洋船舶能效提升节约油耗、高铁客运替代民航运输、民航能效提升节约油耗、城市电动公交替代汽车公交运输、城市轨道交通替代汽车公交运输、高铁客运替代公路运输、港口能效提升节约油耗、铁水联运替代公路运输、ETC便利运输节约油耗、中欧班列替代水运远航。



(a) 节约及替代油耗



(b) 节约及替代油耗占比

图1 5种交通运输方式9类代表性清洁低碳发展对策成效回顾(2013年~2021年)

Fig.1 Review of the effectiveness of 10 representative clean and low-carbon development strategies for 5 transportation modes (2013~2021)

2.1.2 固液散货码头污染治理

经类比以下前期研究成果,采用表2所述方法估算了2013年~2021年固液散货码头污染治理代表性污染物VOCs和PM_{2.5}减排量,详见图2,其中,类比估算的9年累计VOCs和PM_{2.5}减排量分别为:2.84万t、3.65万t。

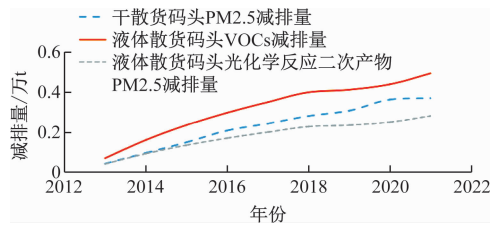


图2 固液散货码头污染治理代表性污染物减排量类比分析(2013年~2021年)

Fig.2 Analogous analysis of representative pollutant emission reduction in pollution control of solid liquid bulk cargo terminal

用于类比分析的前期研究成果为:在采取严格控制措施情景下,全国干散货码头PM_{2.5}排放量会明显降低,按50%控制率计算的2013年排放量1.948万t;液体散货码头VOCs排放工况主要包括:无作业、装船、装火车、装汽车、卸船、卸火车等,汇总的2013年VOCs排放量及其光化学反应二次产物PM_{2.5}生成量分别为3.32万t和1.88万t。

2.1.3 船舶燃料质量提升

经类比以下前期研究成果,采用表2所述方法和公布的内河、沿海、远洋货运周转里程实绩(相对占比见图3),估算了2013~2021年船舶燃料质量提升代表性污染物NO_x、N₂O、SO_x、PM_{2.5}一次产物减排量,详见图4。其中,船舶燃料质量提升以0.5%硫含量的燃油使用率增加来表达,自2016年起每年递增15%,至2021年达到100%;在根据船舶运输周转量类比分析排放量时,考虑了海洋运输能耗降低的贡献;依据2013年不同类型船舶的空气污染物排放量及占比情况,类比分析不同年份因船舶燃料质量提升的空气污染物减排量,NO_x、N₂O、SO_x、PM_{2.5}的累计减排量分别为70.72、70.72、742.51、777.87万吨。

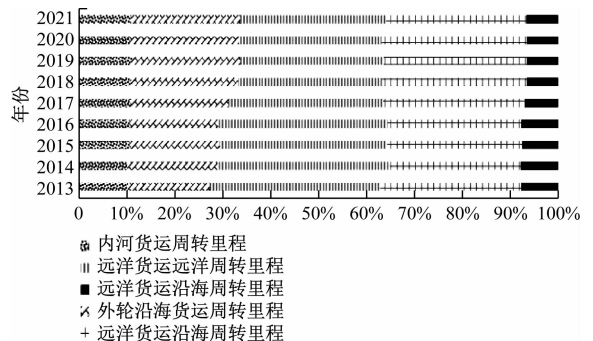


图3 内河、沿海、远洋货运周转里程实绩相对占比(2013年~2021年)

Fig.3 Relative proportion of actual mileage of inland, coastal, and ocean freight turnover (2013~2021)

用于类比分析的前期研究成果为:经计算,2013

年全国货运船舶排放 NO_x 、 SO_x 、 CO 、 VOCs 、 $\text{PM}_{2.5}$ 一次及二次产物分别约 259.98、123.75、21.39、9.02、15.32 及 5.11 万吨,其中,内河、沿海内贸国

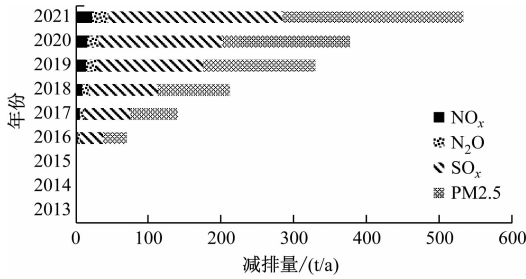


图4 船舶燃油硫含量降低的空气中污染物减排量 (2013年~2021年)

Fig. 4 Reduction of air pollutant emissions with reduced fuel sulfur content in ship (2013~2021)

轮、沿海外贸国轮、沿海外轮、沿海港作船舶排放的特征污染物平均贡献率分别为 27.5%、29.2%、5.0%、30.6% 和 7.6%。

2.1.4 汽车燃料质量提升

根据我国汽车燃油标准的实施情况和新旧车辆的更替状况,设定 2013 年~2015 年、2016 年~2017 年、2018 年~2019 年、2020 年~2021 年四个标准执行阶段,分别执行国三、国四、国五、国六 A 燃油标准,依据交通运输部公布的机动车日均交通量和行驶量、公路货运和客运周转量、城市客运电汽车公共交通里程,类推出不同年份的 4 种公路运输行驶里程(相对占比见图 5),依据燃油标准中排放因子的降低量,估算主要空气污染物 NO_x 、 CO 、 NMHC 、 PM 的减排量,详见图 6。其中, NO_x 、 CO 、 NMHC 、 $\text{PM}_{2.5}$ 的累计减排量分别为 11.36、190.63、17.93、37.23 万吨。

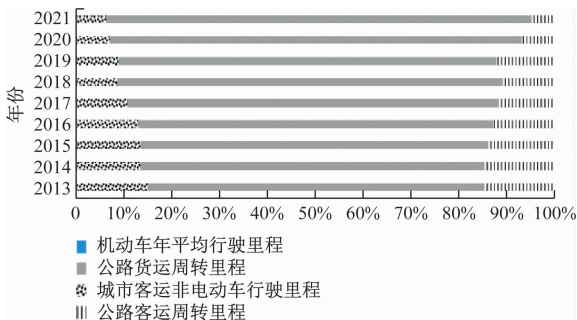


图5 4种公路运输行驶里程相对占比 (2013年~2021年)

Fig. 5 Relative proportion of four types of road transportation mileage (2013~2021)

2.2 中国综合交通清洁低碳发展展望——趋势及面临的问题与重大挑战

1) 节约及替代燃油

通过上述对 2013 年以来代表性对策与成效的

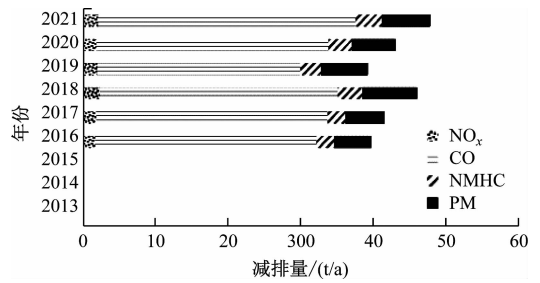


图6 4种公路运输行驶里程燃油硫含量降低的空气中污染物减排量(2013年~2021年)

Fig. 6 Emission reductions of air pollutants with reduced fuel sulfur content for 4 types of road transportation mileage (2013~2021)

回顾分析,笔者对中国综合交通清洁低碳发展趋势作出如下 4 个方面的展望,即:更加节能环保的汽车、船舶、飞机等运载工具的更新换代;绿色综合物流体系和港口、机场等高新节能技术装备的不断完善;货运和客运能效的进一步提升;高铁客运、铁水联运、中欧班列、城市电动公交和轨道交通逐步发挥更大的作用。

对 5 种交通运输方式 9 类代表性清洁低碳发展对策节约及替代油耗量(y)随年度(x)增长曲线(图 1a)的线性函数($y = ax + b$)相关性分析,斜率 $a = 0.2773$,截距 $b = -557.54$,相关系数 $R^2 = 0.8136$,以此估算 2022~2030 年的预期节约及替代油耗量累计约 3.843 亿吨,年均增长率约 6.9%,明显超过了与 GDP 增长率(约 5%)同步的交通运输量增长率。由此判断,伴随着上述发展趋势愿景的逐步落实,其所替代和节约的化石燃料消耗量将得以进一步显著增加,在保证油耗减排量大于运输增长量的前提下,有望实现在交通运输持续发展、客货运输持续增量的同时更多地减少碳排放,为在 2030 年前成功实现行业“碳达峰”奠定坚实基础,并为实现 2060 年国家“碳中和”发展目标作出交通运输行业应有的贡献。

在上述 4 个方面的愿景落实进程中,中国综合交通清洁低碳发展面临着一系列重大挑战,包括配套政策、法规、基础设施、科技、市场、转型和高质量发展、新质生产力、运行维护等,堪称多方位的庞大系统工程。与此同时,随着供电需求的大幅增加,对供电系统的空间布局与安全配置和更多地采用可再生能源发电也提出了新的更高要求。确保 2030 年前实现替代油耗的电全部并尽可能多地利用可再生能源电力,是交通运输行业如期实现“碳达峰”目标所面临的重大挑战中的重中之重。只有当全部使用了清洁低碳电力,在未来才可实现真正意义上的

交通运输全行业空气污染物和温室气体的替代减排。

2) 固液散货码头污染治理

固液散货码头是水运大宗能源和资源的集散枢纽,其进一步的污染治理对于区域空气质量和生态环境的保护具有重要意义,需要依赖更加先进和安全的储运技术装备以及油气回收、密闭储存等技术装备,其推进实施及运行保障有赖于相应的技术、装备和资金的持续投入与支持。

3) 船舶、汽车燃料质量提升

我国2022年的汽车保有量已突破3.19亿辆,约有20个大型城市达到或超过300万辆。在按吞吐量排名的世界十大港口中,中国大陆和香港多年来稳居8席。遍布中国近海及内河的约30余个大中型港口货运及客运船舶穿梭不息,完成了全球约40%的吞吐量。鉴于船舶、汽车燃料质量的提升可望大幅减少 SO_x 、 NO_x 、PM、HC、 O_3 等一次及二次空气污染物的排放量,其对于改善整个中国的空气质量,特别是近海及内河近十亿人口的生活质量至关重要。

船舶燃料质量的提升已经于2020年实现全球范围使用0.5%硫含量的低硫油,在排放控制区使用0.1%硫含量的超低硫油,符合第Ⅲ阶段 NO_x 排放标准的新造船舶开始进入商业运营, SO_x 、 NO_x 、PM等空气污染物的排放量有望进一步降低。“十四五”期间,液氢、液氨、甲醇、液化天然气(Liquefied Natural Gas, LNG)等清洁及可再生燃料的海洋运输船舶以及内河电动船舶的研发和基础设施建设将得到推进,朝着水运远洋清洁低碳、近海和内河温室气体及空气污染物近“零”排放的目标迈出坚实的步伐。

汽车燃料质量的提升和符合排放标准的新车逐步淘汰按照国Ⅳ、国Ⅴ标准制造的旧车,将使得各类汽车的空气污染物排放进一步降低。电池燃料等清洁、可再生能源汽车的供给和运营替代是朝着公路运输温室气体及空气污染物近“零”排放目标迈进的必由之路。

3 结论

《交通强国建设纲要》的发布与实施,对我国清洁低碳综合交通运输体系的构建和完善、保障旅客和货物运输的高效、经济、安全、绿色发展具有重大意义。海洋船舶、民航、港口、ETC便利运输能效提升取得了节约油耗的显著成效,高铁、城市电动公交和轨道交通客运大幅提升了对民航和公路汽车运输的替代,铁水联运、中欧班列具有替代公路和水运远航运输的发展潜质。持续保持上述中国综合交通清

洁低碳发展的态势,确保节能和替代化石燃料消耗量的增长率大于GDP增长率,同时更多地采用可再生能源电力,是成功实现2030年行业“碳达峰”的关键。更加清洁低碳的运载工具、货运客运场站、码头和安全经济的可再生能源供应及配套技术支持、基础设施系统、固液散货码头污染治理、船舶、汽车燃料质量提升,既是实现水路、公路运输温室气体及空气污染物近“零”排放目标的必由之路,同时也是保护空气环境质量和人民身体健康,确保交通运输新质生产力和高质量发展的必由之路,并为实现2060年国家“碳中和”发展目标做出交通运输行业应有的贡献。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央 国务院印发《交通强国建设纲要》[EB/OL]. (2019-09-19). https://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content_5431432.htm.
The Central People's Government of the People's Republic of China. The Central Committee of the Communist Party of China and the State Council have issued the Outline for Building a Strong Transportation Country [EB/OL]. (2019-09-19). https://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content_5431432.htm. (in Chinese)
- [2] International Energy Agency. CO₂ emissions in 2022 [R/OL]. (2023-03-02). <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3c8fa115-35c4-4474-b237-1b00424c8844/CO2Emissionsin2022.pdf>.
- [3] 马子娇. 全球碳排放现状与挑战[EB/OL]. (2021-09-17). 中大咨询. 2021. https://m.thepaper.cn/baijiahao_14544988.
MA Z J. Global carbon emission status and challenges [EB/OL]. (2021-09-17). Management Professional Group, 2021. https://m.thepaper.cn/baijiahao_14544988. (in Chinese)
- [4] 乔冰. 港口排放清单[EB/OL]. (2022-01-20). 中国大百科全书(第三版网络版),北京:中国大百科全书出版社有限公司,2021. <https://www.zgbk.com/ecph/words?SiteID=1&ID=53259&Type=bkzyb&SubID=83826>.
QIAO B. Port emission inventory [EB/OL]. (2022-01-20). Encyclopedia of China (Third Edition Online), Beijing: China Encyclopedia Publishing House Co., Ltd, 2021. <https://www.zgbk.com/ecph/words?SiteID=1&ID=53259&Type=bkzyb&SubID=83826>. (in Chinese)
- [5] 乔冰. 船舶排放清单[EB/OL]. (2022-01-20). 中国大百科全书(第三版网络版),北京:中国大百科全书出版社有限公司,2021. <https://www.zgbk.com/ecph/words?SiteID=1&ID=53564&Type=bkzyb&SubID=83876>.

- QIAO B. Ship emission inventory[EB/OL]. (2022-01-20). Encyclopedia of China (Third Edition Online), Beijing:China Encyclopedia Publishing House Co., Ltd, 2021. <https://www.zgbk.com/ecph/words? SiteID = 1&ID = 53564&Type = bkzyb&SubID = 83876>. (in Chinese)
- [6] 乔冰,赫伟建,刘轶超,等.一种动态组建港口和船舶空气污染物排放清单的计算方法:ZL 201410189202.5[P].中华人民共和国知识产权局.2017-09-01.
QIAO B, HE W J, LIU Y C, et al. A calculation method for dynamically constructing air pollutant emission inventories for ports and ships: ZL 201410189202.5[P]. Intellectual Property Office of the People's Republic of China.2017-09-01. (in Chinese)
- [7] QIAO B, HE W, TIAN Y, et al. Ship emission reduction effect evaluation of air pollution control countermeasures [J]. Transportation Research Procedia, 2017, 25: 3610-3622.
- [8] QIAO B, LIU Y C, HE W J, et al. The evaluation of air pollutant emission reduction effect of port handling and distributing facilities[J]. Advanced Materials Research, 2014(1073-1076): 2719-2727.
- [9] QIAO B, LI S. Study on petroleum wharf and reservoir VOCs emissions and photochemical reaction [J]. Advanced Materials Research, 2013 (864-867): 115-124.
- [10] 乔冰,张卫,俞沅,等,2005.港口煤尘污染防治系统的规划研究[C]//中国航海学会.中国航海学会2005年度学术交流会优秀论文集.北京:中国航海学会:151-154.
QIAO B, ZHANG W, YU Y, et al,2005. Planning and research on the prevention and control system of coal dust pollution in ports [C]//China Institution of Navigation. Excellent Thesis Collection of the 2005 Academic Exchange Conference of the China Institution of Navigation. Beijing: China Institution of Navigation: 151-154. (in Chinese)
- [11] 吴维平,乔冰.ISC3VIEW模式在黄岛油港的应用[C]//全国大气环境学术会议.中国环境科学学会大气环境分会.全国大气环境学术会议,2000:75-80.
WU W P, QIAO B. The application of ISC3VIEW mode in Huangdao Oil Port [C]//National Conference on Atmospheric Environment. Atmospheric Environment Branch of the Chinese Society of Environmental Sciences. National Conference on Atmospheric Environment, 2000: 75-80. (in Chinese)
- [12] 乔冰,刘敏燕,吴维平,等.中国水路运输大气环境问题与防治对策[J].交通环保,1999(1):3-6.
QIAO B, LIU M Y, WU W P, et al. Atmospheric environment problems and prevention strategies for waterway transportation in China [J]. Transportation and Environmental Protection, 1999 (1): 3-6. (in Chinese)
- [13] 乔冰.石化码头工程大气环境评价实例研究[C]//全国大气环境学术会议.中国环境科学学会大气环境分会.全国大气环境学术会议,1998:534-539.
QIAO B. Case study on atmospheric environment assessment of petrochemical terminal engineering [C]//National Conference on Atmospheric Environment. Atmospheric Environment Branch of the Chinese Society of Environmental Sciences. National Conference on Atmospheric Environment, 1998: 534-539. (in Chinese)
- [14] 李深,乔冰.大气臭氧本底监测及其在环境评价中的应用[J].交通环保,1998(1):14-19.
LI S, QIAO B. Atmospheric ozone background monitoring and the application in environmental assessment [J]. Transportation and Environmental Protection, 1998(1): 14-19. (in Chinese)
- [15] 中华人民共和国交通运输部.中国可持续交通发展报告(中文版)[R/OL].(2021-10-14).<https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/gjhzs/202112/P020211214340932154736.pdf>.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. China sustainable transport development report (Chinese version) [R/OL]. (2021-10-14). <https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/gjhzs/202112/P020211214340932154736.pdf>. (in Chinese)
- [16] 中国民用航空局.关于印发《“十四五”民航绿色发展专项规划》的通知[EB/OL].(2021-12-31).http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/28/content_5670938.htm.
Civil Aviation Administration of China. Notice on issuing the “14th Five Year Plan” for Green Development of Civil Aviation[EB/OL]. (2021-12-31). http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/28/content_5670938.htm. (in Chinese)
- [17] 百度百科.ETC[EB/OL].[2025-06-01].<https://baike.baidu.com/item/ETC/563188?fr=aladdin>.
Baidu Baike. ETC [EB/OL]. [2025-06-01]. <https://baike.baidu.com/item/ETC/563188?fr=aladdin>. (in Chinese)
- [18] 中华人民共和国交通运输部.关于印发船舶与港口污染防治专项行动实施方案(2015—2020年)的通知[EB/OL].(2015-08-27).<https://www.msa.gov.cn/page/article.do?type=hsfg&articleId=7AE8C12BF2C941EABBA862BEC9C7F5ED>.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Notice on issuing the implementation plan for the special action on pollution prevention and control of ships and ports (2015—2020)[EB/OL]. (2015-08-27). <https://www.msa.gov.cn/page/article.do?type=hsfg&articleId=7AE8C12BF2C941EABBA862BEC9C7F5ED>. (in Chinese)