

# 宁波市交通碳排放测算与分析

曹雨洋, 何胜学\*, 贾田峰

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2024年9月27日; 录用日期: 2024年11月27日; 发布日期: 2024年12月6日

## 摘要

随着全球气候变化问题日益严峻, 交通领域作为碳排放的主要来源之一, 受到越来越多的关注。本文以宁波市为研究对象, 通过对交通碳排放的测算与分析, 探讨了宁波市交通部门的碳排放现状。本文基于宁波市2021~2023的相关统计数据, 分别利用行驶里程法、周转量法、机场起降法三种碳排放测算方法计算了宁波市2021~2023年道路交通、铁路交通、城市轨道交通、水路交通和航空交通的碳排放量。结果显示, 道路交通仍是交通碳排放的主要来源, 通过对不同交通方式的碳排放强度进行对比分析, 发现公共交通工具(如地铁)的单位碳排放量明显低于私家车和货车。最后, 结合中国整体碳排放目标与政策, 提出了降低宁波市交通碳排放的若干建议。

## 关键词

碳排放测算, 交通运输业, 碳达峰

# Measurement and Analysis of Traffic Carbon Emission in Ningbo City

Yuyang Cao, Shengxue He\*, Tianfeng Jia

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Sep. 27<sup>th</sup>, 2024; accepted: Nov. 27<sup>th</sup>, 2024; published: Dec. 6<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

With the increasingly serious problem of global climate change, the transportation sector, as one of the main sources of carbon emissions, has received more and more attention. This paper takes Ningbo City as the research object, through the calculation and analysis of traffic carbon emissions,

\*通讯作者。

文章引用: 曹雨洋, 何胜学, 贾田峰. 宁波市交通碳排放测算与分析[J]. 运筹与模糊学, 2024, 14(6): 280-289.

DOI: 10.12677/orf.2024.146530

discusses the current situation of traffic carbon emissions in Ningbo City. Based on the relevant statistical data of Ningbo City from 2021~2023, this paper calculates the carbon emissions of road traffic, railway traffic, urban rail traffic, water traffic and air traffic in Ningbo City from 2021~2023 by using three carbon emission measurement methods, namely mileage method, turnover method and airport take-off and landing method. The results show that road traffic is still the main source of transport carbon emissions. Through comparative analysis of carbon emission intensity of different modes of transport, it is found that the unit carbon emission of public transport (such as subway) is significantly lower than that of private cars and trucks. Finally, combining with China's overall carbon emission targets and policies, this paper puts forward some suggestions to reduce the carbon emission of Ningbo's transportation.

## Keywords

Carbon Emission Measurement, Transportation Industry, Carbon Peak

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

全球气候变化已成为 21 世纪最为紧迫的环境问题之一。作为温室气体排放大国，中国在应对气候变化方面肩负着重要责任。为此，中国政府在国际上提出了碳达峰和碳中和的“双碳”目标，计划于 2030 年前实现碳达峰，并在 2060 年前实现碳中和。这一目标不仅展示了中国应对气候变化的决心，也对各个领域的碳排放提出了具体要求。交通运输行业是能源消耗和温室气体排放的重要领域之一，其碳排放量占全球总排放量的比例持续上升。根据中国《交通运输绿色低碳发展行动计划(2021~2030 年)》和《新能源汽车产业发展规划(2021~2035 年)》等政策文件，推动交通运输行业的绿色转型和低碳发展已成为实现“双碳”目标的关键环节。这些政策文件强调，通过推广新能源汽车、优化交通结构、提高公共交通利用率、发展智能交通等措施，可以有效降低交通领域的碳排放。

宁波市作为中国东南沿海的重要城市和长三角经济区的重要组成部分，拥有发达的交通网络和繁忙的运输活动。随着城市化进程的加快和经济的快速发展，宁波市的交通碳排放面临着巨大的压力和挑战。因此，开展宁波市交通碳排放的测算与分析，不仅有助于了解其现状及发展趋势，还能为制定和实施低碳交通政策提供科学依据。

碳排放的计算涵盖多个领域，如能源、工业、农业等领域，其中在交通领域的研究主要是两个方面。第一个方面是交通工具和基础设施在建设、维护及运营过程中所产生的碳排放，如陈进杰等根据全生命周期理论，对高速铁路全生命周期碳排放计算的边界进行界定，将高速铁路全生命周期分为 4 个阶段，并计算产生的碳排放量[1]。二是直接排放与间接排放的影响，其中直接排放是交通工具运行过程中燃料燃烧产生的二氧化碳排放，比如高铁的运行对城市碳排放强度的影响[2]；间接排放则是指交通系统的建设与运营通过影响其他经济活动(如物流、产业布局等)所引发的碳排放[3]。在计算碳排放时采用的方法上大多数研究选择自上而下或自下而上的方法[4]。陈泽生从计算原理和主要参数获取方式两方面详细分析了“自上而下”和“自下而上”两种交通碳排放计算方法的优缺点及适用范围[5]。由于无法获得宁波市燃料消耗的具体数据，本文采用“自下而上”的方法分别计算了宁波市 2021~2023 年道路交通、铁路交通、城市轨道交通、水路交通和航空交通的碳排放量。

## 2. 数据

### 2.1. 人口经济数据

宁波市是中国浙江省的副省级城市，位于东南沿海的长江三角洲南翼，下辖6个市辖区(海曙区、江北区、北仑区、镇海区、鄞州区、奉化区)、2个县(象山县、宁海县)和2个县级市(余姚市、慈溪市)。宁波市统计局数据显示，2023年宁波市常住人口约为969.7万人，人口密度高，城镇化水平较高，主要集中在市区及其周边。2023年，宁波市的地区生产总值(GDP)达到约1.645万亿元人民币，人均GDP约为17万元人民币，经济结构多元化，以制造业为支柱，港口和民营经济发达。表1为宁波市2021~2023年人口经济数据。

Table 1. Population and economic data of Ningbo City from 2021~2023

表 1. 宁波市 2021~2023 年人口经济数据

统计指标	2021	2022	2023	单位
GDP	14594.9	15704.3	16452.8	亿元
常住人口	954.4	961.8	969.7	万人



Figure 1. Ningbo rail transit map

图 1. 宁波市轨道交通图

宁波市交通网络发达，是中国东南沿海的重要交通枢纽之一，涵盖公路、铁路、港口、航空和市内交通多个方面。公路方面，宁波市拥有便捷的公路交通网络，几条重要的高速公路如甬金高速、甬台温高速、杭甬高速等贯通全市并连接周边地区。这些高速公路不仅连通了长三角主要城市，还通过国家高速公路网与全国各地紧密相连。城市交通方面，宁波市内交通体系完善，公共交通工具多样。宁波地铁目前有多条

线路运营,包括1号线、2号线、3号线、4号线和5号线等,连接了市区主要区域和重要交通节点,极大地缓解了市内交通压力。公共汽车和出租车服务覆盖全市各个角落,为市民和游客提供了便利的出行选择。港口方面,宁波舟山港是全球吞吐量最大的港口之一,具备优良的深水港条件,能够停靠世界上最大的集装箱船舶。宁波舟山港不仅是中国对外贸易的重要港口,也是“一带一路”倡议中海上丝绸之路的关键节点[6]。航空方面,宁波栎社国际机场是浙江省重要的航空枢纽,拥有众多国内外航线,覆盖国内主要城市以及部分国际目的地。据近三年全国民用运输机场生产统计公报显示,宁波市栎社国际机场在2021~2023三年的民航起降架次分别77,705、56,148、99,330次。图1为宁波市轨道交通图。

总之,宁波市交通发达,拥有完善的公路、铁路、港口和航空网络。甬金、甬台温等高速公路连接长三角主要城市,宁波舟山港是全球最大的港口之一,宁波栎社国际机场提供广泛的航空服务。市内交通包括地铁、公交和出租车,便捷高效。这些因素共同促进了宁波市的经济发展和区域交流。

## 2.2. 机动车数据

近年来,社会机动车保有量急剧增长,这一趋势不仅显著改变了城市交通格局,也带来了显著的碳排放问题。随着私家车和商用车数量的增加,宁波市的碳排放量逐年攀升,对城市空气质量造成了直接影响,尤其是在交通密集区域和高峰时段,空气污染问题愈加突出。此外,机动车增加还带来了交通拥堵和噪音污染等问题,不仅影响了居民的出行效率和生活质量,还加大了城市管理和环境保护的难度。对于城市交通温室气体的排放,交通领域温室气体排放主要考虑二氧化碳、甲烷、氧化亚氮的排放。本文基于宁波市2021~2023三年的统计年鉴,获得了这三年间各类型机动车的保有量,以此来估算这三年道路交通碳排放量。各类型机动车保有量如表2所示。

**Table 2.** Number of motor vehicles in Ningbo from 2021 to 2023

**表 2.** 宁波市 2021~2023 年机动车保有量

机动车保有量(辆)	2021	2022	2023
汽车	3,165,772	3,357,053	3,510,545
载客汽车	2,533,575	2,687,948	2,810,016
大型	9370	9942	10,429
中型	3774	4004	4196
小型	2,511,172	2,664,180	2,785,124
微型	9259	9822	10,267
载货汽车	235,686	250,199	261,536
重型	45,190	47,972	50,146
中型	4367	4636	4846
轻型	186,096	197,556	206,508
微型	33	35	36
拖拉机	6625	7024	7348
摩托车	361,787	383,471	401,271
其他	2799	2912	3074

年平均行驶里程(VKT, Vehicle Kilometers Traveled)是指特定类型车辆群体在一年内行驶的总里程,

对于碳排放测算具有重要意义。通过准确测算不同车辆群体的 VKT, 可以精确计算出其产生的碳排放量, 为评估交通对环境的影响、制定低碳交通政策以及监测减排效果提供关键数据支持。本文根据道路机动车排放清单编制技术指南(试行)显示数据, 给出具体分车型的道路机动车年均行驶里程, 见表 3。

**Table 3.** Average annual mileage of road motor vehicles of different types

**表 3.** 不同车型的道路机动车年均行驶里程

机动车类型	年平均行驶里程 VKT (km)
微型、小型载客汽车	18,000
出租车	120,000
中型载客车	31,300
大型载客车	58,000
公交车	60,000
微型、轻型载货车	30,000
中型载货车	35,000
重型载货车	75,000
拖拉机	1000
摩托车	6000

吕晨等人基于移动源排放模型核算了中国 31 个省份分车型的 CO<sub>2</sub> 排放因子[7]。其中浙江省综合碳排放因子如表 4 所示, 本文用浙江省综合碳排放因子代替宁波市碳排放因子。

**Table 4.** Comprehensive carbon emission factors of different vehicle types in Zhejiang Province

**表 4.** 浙江省不同车型综合碳排放因子

车辆类型	小微型载 客汽车	中型 客车	大型 客车	公交车	摩托车	微型载货 汽车	轻型载货 汽车	中型载货 汽车	重型载 货汽车	拖拉机
CO <sub>2</sub> 综合 排放因子 (g/km)	204	601	633	870	625	215	380	510	883	883

### 2.3. 周转量数据

客货运周转量是指在一定时间内, 通过各种交通运输方式(如公路、铁路、水路等)运输的旅客或货物的总量。客货运周转量对于交通碳排放的计算是一个重要的指标, 由浙江省轨道交通建设与管理协会数据得出客货运周转量数据。表 5 为宁波市 2021~2023 年的客货运量及周转量数据。

**Table 5.** Statistical table of passenger and freight turnover in Ningbo from 2021~2023

**表 5.** 宁波 2021~2023 年客货运周转量统计表

客货运周转量类别	2021 年	2022 年	2023 年
一、客运量合计(万人次)	7169.1	4821.7	9213.4
铁路客运量	4620.5	2964.3	5780.7
民航客运量	946.3	616.6	1290.2
公路客运量	1427.0	1105.1	1953
水路客运量	175.3	135.7	189.5

续表

二、旅客周转量合计(万人公里)	207497.1	127317.2	203307.2
公路旅客周转量	206,791	126,782	246,359
水路旅客周转量	706	536	834
三、货运量合计(万吨)	78747.1	80100.4	87403.7
铁路货运量	3298.2	3502.9	3479.3
民航货运量	11.3	8.5	14.3
公路货运量	43923.0	45310.0	50,679
水路货运量	31510.7	31279.0	33231.2
四、货运周转量合计(万吨公里)	43,951,000	47,390,000	53,428,000
公路货物周转量	6,577,087	7,133,771	7,569,536
水路货物周转量	37,374,078	40,256,110	43,256,236
五、城市轨交周转量合计(万人次公里)	164107.82	145069.04	213453.2

吴雪研等通过比较研究不同交通方式的碳排放因子,分析了其影响因素及差异水平[8]。由于暂未获得宁波市城市交通碳排放因子数据,本文周转量计算中排放因子以此代替。表6为不同交通方式客货运周转量碳排放因子。

**Table 6.** Carbon emission factors of passenger and freight turnover of different modes of transportation  
**表 6.** 不同交通方式客货运周转量碳排放因子

碳排放因子	铁路交通	水路交通	航空	轨道
客运周转量碳排放因子(kg/pkm)	0.027	0.008	0.077	0.03
货运周转量碳排放因子(kg/tkm)	0.014	0.008	1.027	/

在浙江省统计年鉴、宁波市统计年鉴、宁波市交通运输厅公开文件中可以得到近三年公路、水路的客货运周转量,铁路客货运周转量未明确统计,因此本文选取浙江省铁路运输客货运量与周转量之商获得客货运平均运距,以此来计算出宁波市铁路运输客货运周转量。表7所示为浙江省铁路运输客货运平均运距。

**Table 7.** Average distance of passenger and freight transportation in Zhejiang Province  
**表 7.** 浙江省铁路运输客货运平均运距

年份	客运量 (万人)	旅客周转量 (亿人公里)	客运平均运距 (km)	货运量 (万吨)	货物周转量 (亿吨公里)	货运平均运距 (km)
2021	18,146	531.81	293	4471	269.74	603
2022	11,675	347.97	298	4602	285.48	620
2023	19,254	589.32	306	4626	298.62	645

### 3. 测算方法

本文针对宁波市不同类别的交通运输方式,采用了行驶里程法、周转量法和机场起降法进行碳排放

测算[9]。行驶里程法适用于道路交通,通过各类车辆在市区及周边地区的年平均行驶里程和相关碳排放系数等数据,推算得出道路交通的碳排放量。对于铁路、水路和航空交通,我们采用周转量法和机场起降法。周转量法基于准确的客货运量数据,通过乘坐里程和运输量来估算铁路和水路运输的碳排放。而机场起降法则依据每架飞机的起飞和降落次数,计算航空交通的碳排放情况[10]。为避免重复计算,本文在道路交通部门只采用了行驶里程法,而将周转量法用于其他交通方式的碳排放测算。

### 3.1. 行驶里程法

行驶里程法是一种用于测算机动车辆碳排放的方法,通过收集和分析车辆群体的年平均行驶里程数据,并结合每种车辆类型的碳排放因子,计算出特定时间段内机动车辆总体的碳排放量。这种方法直观且操作简便,能够有效评估车辆对环境 and 气候变化的影响,为制定减排政策提供科学依据。行驶里程法计算道路交通部门碳排放模型如下:

$$E_R = \sum_k N_k * L_k * EF_k \quad (1)$$

式中  $E_R$  为道路交通部门的  $\text{CO}_2$  排放总量(kg);  $k$  为机动车的类别,如大型载客汽车、重型载货汽车、摩托车、低速货车等;  $N_k$  为  $k$  类型机动车保有量(辆);  $L_k$  为  $k$  类型机动车的年均行驶里程(km);  $EF_k$  为  $k$  类型机动车的  $\text{CO}_2$  综合排放因子(kg/辆 km)。

### 3.2. 周转量法

周转量法是一种用于评估铁路、水路等交通运输方式碳排放的方法,通过统计和分析特定时期内的客运和货运量数据,结合相应的碳排放因子,计算出这些运输方式在运输过程中产生的碳排放总量。该方法以运输量为基础,能够准确反映不同交通方式对碳排放的贡献,为制定低碳交通策略提供重要支持。

周转量法计算客货运碳排放模型如下:

$$E_m = T_m * EF_m \quad (2)$$

式中  $E_m$  为  $m$  类交通运输周转量的  $\text{CO}_2$  排放总量(kg);  $m$  为交通运输周转的类别,如公路客运、铁路货运等;  $T_m$  为  $m$  类交通运输周转量的数量(万人次公里或万吨公里);  $EF_m$  为  $m$  类交通运输周转的单位周转量综合排放因子(kg/万人次公里或万吨公里),由单位周转量能耗与单位能源碳排放相乘所得。

### 3.3. 机场起降法

机场起降法是一种用于评估航空运输碳排放的方法,通过统计和分析机场内各类型飞机的起降次数,结合每次起降所产生的碳排放量,计算出特定时期内机场航空运输总体的碳排放量。这种方法以飞机起降次数为依据,能够直观地评估航空交通对碳排放的影响,为航空运输的碳排放管理和减排措施提供数据支持。据近三年全国民用运输机场生产统计公报显示,宁波市栎社国际机场在 2021~2023 三年的民航起降架次分别 77,705、56,148、99,330 次。

起降法计算机场碳排放模型如下:

$$E_A = \sum_j F_i * E * n_i * 0.5 \quad (3)$$

式中  $E_A$  为机场内各类航空器 LTO (起降循环)产生的  $\text{CO}_2$  排放总量(kg);  $E$  为航空燃油二氧化碳排放系数(3.168 kg/kg);  $n_i$  为  $i$  类航空器起降架次。在本文中,假设在一个起降循环燃油消耗量  $F_i$  为 389.61 kg。

## 4. 测算结果

根据宁波市的统计数据、碳排放因子数据以及交通运输里程数据,本文采用行驶里程法、周转量法

和机场起降法三种碳排放测算方法，分别计算了 2021~2023 年间宁波市不同交通方式的碳排放量，具体结果详见表 8。

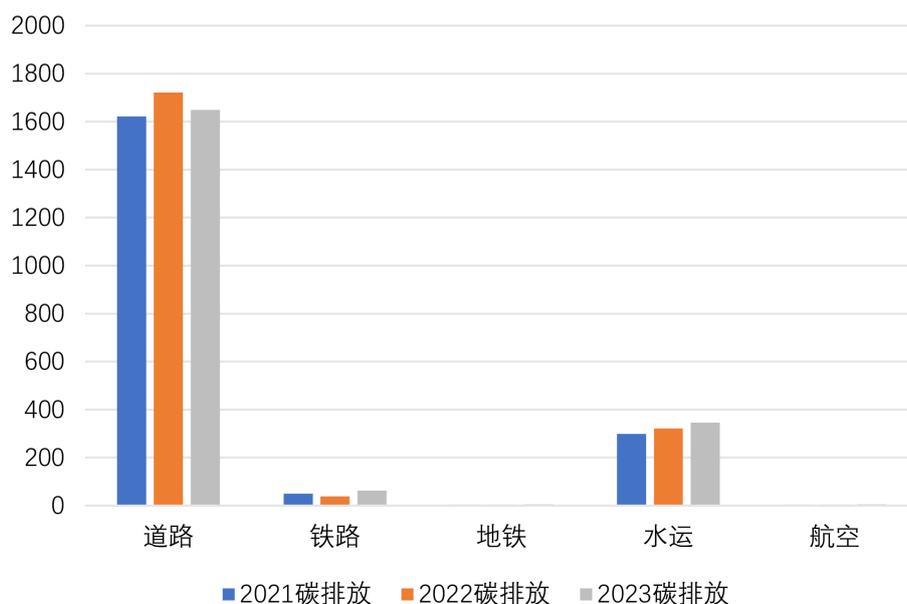
**Table 8.** Measurement results of carbon emissions by transportation mode in Ningbo from 2021 to 2023 (10,000 tons)  
**表 8.** 宁波市 2021~2023 年各交通方式碳排放测算结果(万吨)

交通方式	2021 碳排放	2022 碳排放	2023 碳排放
道路	1622	1721	1649
铁路	50	38	63
地铁	5	4	6
水运	299	322	346
航空	4.5	3.9	6

对各交通方式每年的碳排放量进行求和，可得到宁波市交通部门在 2021~2023 三年的总碳排放量，结合宁波市对应每年的 GDP 数据以及常住人口数据，可分别得到单位 GDP 碳排放以及人均碳排放数据，如表 9 所示。

**Table 9.** Carbon emission indicators of Ningbo from 2021 to 2023  
**表 9.** 宁波市 2021~2023 年各碳排放指标

指标	2021 年	2022 年	2023 年
总碳排放(万吨)	1980.5	2088.9	2070
单位 GDP 碳排放(g/元)	13.56	13.30	12.58
人均碳排放(kg/人)	2075.12	2171.86	2134.68



**Figure 2.** Carbon emissions of different transportation modes in Ningbo from 2021~2023  
**图 2.** 宁波市 2021~2023 不同交通方式碳排放

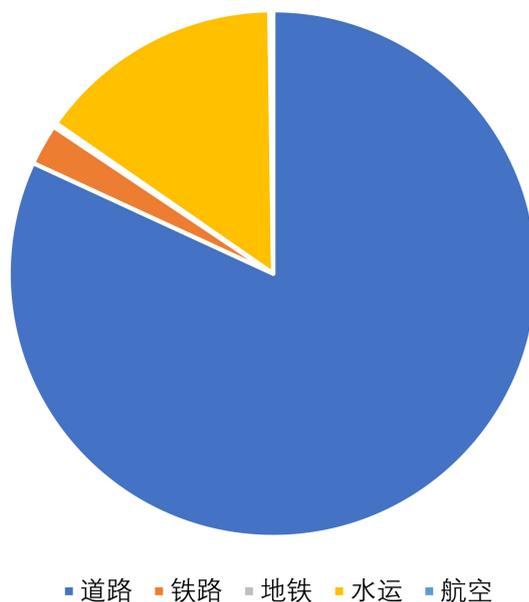


Figure 3. Carbon emission ratio of different modes of transportation in Ningbo in 2021  
图 3. 宁波市 2021 年不同交通方式碳排放占比

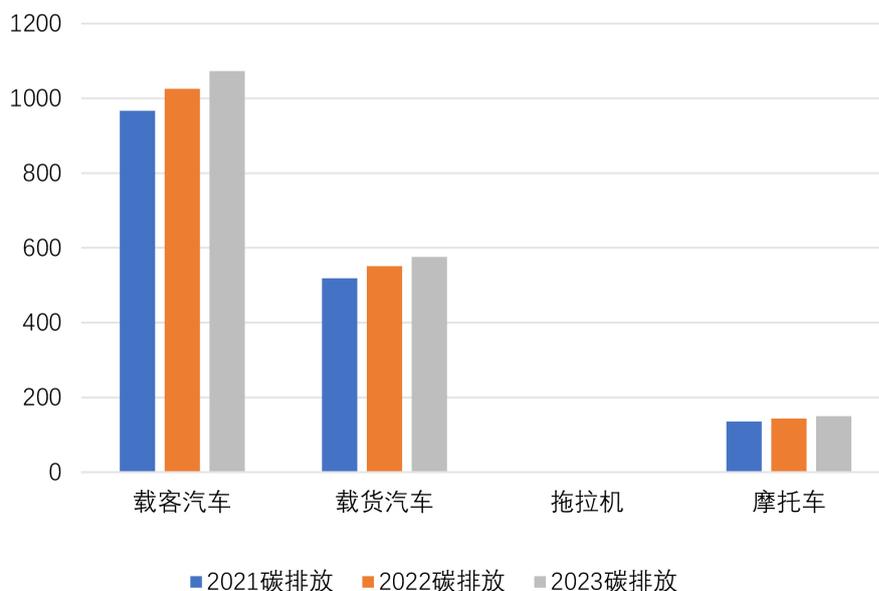


Figure 4. Carbon emission of different vehicle types in road traffic  
图 4. 道路交通中不同车型碳排放

## 5. 结论

通过对宁波市交通碳排放的测算和分析,本文发现道路交通依然是碳排放的主要来源,占比超过 80% (见图 2、图 3),且载客汽车和载货汽车的碳排放总和几乎涵盖了道路交通碳排放的绝大部分(见图 4)。与其他交通方式相比,水路交通的碳排放 in 宁波市占据较高比例,反映了其作为港口城市在水路运输方面

的独特性。研究结果表明,宁波市碳排放水平相对稳定,且单位 GDP 碳排放呈下降趋势,显示出一定的经济增长与环保成效并行的态势。在未来对减少碳排放的具体措施中,从道路交通方面入手仍是主要方向。进一步推广新能源汽车、优化公共交通系统、提升交通管理水平以及加强低碳交通基础设施建设,将是实现交通碳排放持续下降的关键策略。

本文的主要创新点在于结合行驶里程法、周转量法和机场起降法,综合测算了宁波市不同交通方式的碳排放,提供了较为全面的评估模型。此外,本文通过对 2021~2023 年各类交通方式的碳排放进行细致划分,例如划分不同车辆类型等,揭示了宁波市在不同交通方式中的碳排放特征,为地方低碳交通政策的制定提供了科学依据。但由于部分交通方式(如铁路和航空)的数据缺失,导致测算结果可能存在偏差,在细节方面比如未能考虑到新能源车对碳排放的影响,这可能限制了结果的广泛应用性。在后续研究中可以进一步提升交通碳排放测算的精度,例如通过更多实际交通运行数据进行动态分析,还可以结合更多的本地燃料消耗和车辆能耗数据,细化排放因子的计算。

## 参考文献

- [1] 陈进杰,王兴举,王祥琴,等. 高速铁路全生命周期碳排放计算[J]. 铁道学报, 2016, 38(12): 47-55.
- [2] 张般若,李自杰. 高铁能促进低碳经济吗?——高铁开通对城市碳排放强度的影响及机制研究[J]. 华中科技大学学报(社会科学版), 2021, 35(1): 131-140.
- [3] 马慧强,刘嘉乐,弓志刚. 山西省旅游交通碳排放测度及其演变机理[J]. 经济地理, 2019, 39(4): 223-231.
- [4] Psaraftis, H.N. and Kontovas, C.A. (2016) *Green Transportation Logistics*. Springer International Publishing.
- [5] 陈泽生,黄雅迪,张洋. 交通碳排放统计和计算方法探讨[J]. 西部交通科技, 2023(7): 204-206.
- [6] 余杨,冯浩博. 宁波市碳排放测算与分解效应研究[J]. 统计科学与实践, 2023(1): 30-33.
- [7] 吕晨,张哲,陈徐梅,等. 中国分省道路交通二氧化碳排放因子[J]. 中国环境科学, 2021, 41(7): 3122-3130.
- [8] 吴雪妍,毛保华,周琪,等. 交通运输业不同方式碳排放因子水平比较研究[J]. 华东交通大学学报, 2022, 39(4): 41-47.
- [9] 刘怡,周涛,孙琴梅. 融合多源数据的城市道路车辆碳排放测算研究[C]//中国城市规划学会城市交通规划专业委员会. 韧性交通: 品质与服务——2023 年中国城市交通规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023: 1867-1877.
- [10] 钱仕霸. 城市道路机动车碳排放测算及降碳策略评估[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2023.