

华东地区公路营运客运汽车碳排放量分析

曾琦惠, 曾传华*

西华大学汽车与交通学院, 四川 成都

收稿日期: 2025年9月19日; 录用日期: 2025年10月30日; 发布日期: 2025年11月13日

摘要

我国交通运输业为积极响应国家“双碳”政策, 在不同运输方式上有大量的研究分析。公路营运客运碳排放量一直都处于交通运输中占比较大的部分, 因此本研究提出采用自下而上的方法单独计算营运客运汽车的二氧化碳排放量, 并分别计算我国华北、华东等七大区域的二氧化碳排放量, 最后针对营运客运汽车碳排放量最高的华东片区进行驱动因素的分解分析: 构建包括源消耗量和营运客运汽车收入的驱动因素研究框架, 并采用LMDI (对数平均迪氏指数法) 分解模型分析了10个驱动因素的影响效益。根据模型分析得到2023年营运客运汽车中小型客运汽车的碳排放量占比较高。同时汽车保有量是正向驱动因素, 能源效率是首要负向驱动因素。由此可见, 华东地区的营运客运汽车二氧化碳减排应把重心放在提高燃油效率和减少车辆使用强度等方面。

关键词

营运客运汽车, CO₂排放量, 自下而上法, LMDI模型

Analysis of Carbon Emissions from Passenger Buses Operating on Highways in the East China Region

Qihui Zeng, Chuanhua Zeng*

School of Automotive and Transportation Engineering, Xihua University, Chengdu Sichuan

Received: September 19, 2025; accepted: September 30, 2025; published: November 13, 2025

Abstract

In order to actively respond to the country's "dual carbon" policy, China's transportation industry has conducted extensive research and analysis on different modes of transportation. Carbon emissions

*通讯作者。

文章引用: 曾琦惠, 曾传华. 华东地区公路营运客运汽车碳排放量分析[J]. 低碳经济, 2025, 14(4): 357-366.
DOI: 10.12677/jlce.2025.144037

from road passenger transport operations have always accounted for a significant proportion of transportation emissions. Therefore, this study proposes using a bottom-up approach to calculate the carbon dioxide emissions of operational passenger vehicles separately, and calculates the carbon dioxide emissions in seven major regions of China, including North China and East China. Finally, a decomposition analysis of driving factors is conducted for the East China region, which has the highest carbon emissions from operational passenger vehicles. A research framework has been established that includes source consumption and operating revenues of passenger vehicles, and the LMDI (Logarithmic Mean Divisia Index) decomposition model is used to analyze the impact of 10 driving factors. According to the model analysis, in 2023, carbon emissions from small and medium-sized passenger vehicles in operation account for a high proportion. Vehicle ownership is identified as a positive driving factor, while energy efficiency is the primary negative driving factor. Therefore, carbon reduction for operational passenger vehicles in the East China region should focus on improving fuel efficiency and reducing vehicle usage intensity.

Keywords

Operating Passenger Vehicles, CO₂ Emissions, Bottom-Up Approach, LMDI Model

Copyright © 2025 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

二氧化碳是加剧全球气候变化的重要因素之一,随着社会建设的高速发展,二氧化碳的排放量持续升高对人们的生活环境和身体健康产生极大的影响,2024年9月第七十五届联合国大会提出双碳目标——实现“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”。在交通运输业的碳排放量中,因现在我国公路网规模超过543.68万公里,公路密度56.63公里/百平方公里[1],所以公路运输的碳排放量历年都位居第一。

崔倩[2]等人主要采用“自上而下”的测算方法,以社会经济指标作为核心考量因素,主要对东部沿海等发达地区进行了分析。研究结论显示中国交通碳排放和经济发展之间呈现弱脱钩,欠发达地区更容易出现不理想的脱钩状态,且中国不同区域的交通碳排放存在显著差异,整体呈现东南高、西北低的空间格局。庄颖[3]等人应用LMDI分解法(对数平均指数法)对广东交通碳排放的变化进行因素分解分析,对广东交通碳排放进行因素分解的结果显示,交通运输业发展水平、运输结构、私人汽车数量规模对广东交通碳排放增加的正向影响较为显著。余艳春[4]等人计算和预测了未来十多年间,我国营运汽车污染物排放总量。但本文根据以上LMDI方法的学习,科学地选择碳排放驱动因素,合理的分析不同地区碳排放情况。

截至2023年底,根据《交通运输行业发展统计公报》可知全国拥有公路营运汽车1226.20万辆,其中载客汽车55.24万辆;载货汽车1170.97万辆;纵观整个交通运输行业的营运性旅客运输服务,公路运输占比最大,为63.5%,且营运客运汽车较多的为大型汽车,单车每公里的耗油量大,排放量也比较大,因此我国营运客运汽车产生的碳排放量是不容忽视的。从理论和实际应用层面来说,缺乏对片区的碳排放量对比分析,本文对2023年我国营运客运汽车碳排放量进行计算分析,然后对最高碳排放量的地区——华东地区进行相关的驱动因素分析,并且针对该地区为实现双碳战略目标提供参考建议。

2. 碳排放测算及数据

计算公路营运车辆二氧化碳排放的关键在于确定明确计算方法、模型和核算边界;由于公路运输覆盖面广,因此很难获得总能耗数据,因此,本文采用自下而上的方法[5]来计算客运的碳排放量;主要与

各类营运客运汽车的汽车保有量、年均行驶里程、化石燃料的燃烧水平和二氧化碳排放因素等因素有关。

2.1. 核算边界

测算边界的设定:

本文的碳排放量只涉及二氧化碳的排放量, 不涉及其他温室气体的计算。

只考虑营运期间的公路营运客运汽车的碳排放量, 不考虑建设时期、施工时期, 同时也不考虑营运期间公路货运汽车的碳排放量。

本文基于行驶里程法计算即自下而上法, 不采用油耗法计算, 因为我国尚未建立全面的交通燃料消耗统计制度, 同时存在很多黑加油站、走私燃油等, 无法进行精确的数据统计。

关于营运客车的类型, 本文只考虑大型客车、中型客车和小型客车, 不考虑车长小于 3500 mm 的微型客车, 因为其载客量过小, 基本不用来当作营运客车, 所以忽略不计。

2.2. 建立测算模型

本文采用自下而上的计算方法计算公路客运的交通活动水平, 进而测算它的能耗以及 CO₂ 排放量。针对机动车的排放至今都无统一的调查和测算方法, 本文参考田佩宁学者对我国不同运输方式的碳排放水平和强度分析论文中的公式[6]; 大型和小型的客运汽车的交通活动水平, 能源消耗量, CO₂ 排放量的计算方法如公式(1)~(3)客运汽车的 CO₂ 排放量即为大小型客运汽车碳排放量的总和, 如公式(4)所示, 其符号说明如表 1 所示。

$$L_K = N_K \times l_K \quad (1)$$

$$F_{K,i} = L_K \times e_{i,K} \quad (2)$$

$$P_K = \sum_i N_i = F_{i,K} \times C_i \times O_i \times \frac{44}{12} \quad (3)$$

$$P_y = \sum_k P_K \quad (4)$$

Table 1. Symbolic explanations for formulas (1) to (4)

表 1. 公式(1)~(4)符号说明

参数符号	参数名称	单位	备注
L_K	k 型营运客车所有车辆的年行驶里程	公里	$k=1$: 小型营运客车; $k=2$: 大型营运客车
N_K	k 型营运客车的汽车拥有量	辆	
l_K	k 型营运客车的年均行驶里程	公里	
$F_{K,i}$	k 型营运客车所用化石燃料 i 的消耗量		
$e_{i,K}$	k 型营运客车所用化石燃料 i 单位行驶里程的消耗量		
P_K	k 型营运客车的 CO ₂ 排放量		
N_i	化石燃料 i 的缺省净发热值		固体或液体燃料的单位为 GJ/t, 气体燃料的单位为 J/m ³
C_i	化石燃料 i 的单位热值含碳量	tC/J	
O_i	化石燃料 i 的缺省 CO ₂ 因子		取值为 1 [7]
P_y	营运客运汽车总的 CO ₂ 排放量		
	44/12 为 CO ₂ 与碳的分子量之比		

未从研究统计数据的公报中获得车辆的年均行驶里程，所以本文采用已有模型[4]计算不同车型的年均行驶里程。车辆年均行驶里程的计算模型如公式(5)所示：

$$l_k = \frac{O_k}{\alpha \times \beta \times \varphi \times N_k \times T_k} \tag{5}$$

式中： l_k 为第 k 类型营运客车年均行驶里程； O_k 为第 k 类型营运客车客运周转量； N_k 为第 k 型营运客车的总规模，即汽车拥有量； T_k 为第 k 型营运客车单车平均吨位； α 、 β 、 φ 分别为实载率、里程利用率、工作率。根据《中国交通年鉴 2023 汇编》中的统计数据，实载率、里程利用率和工作率的取值为：大型汽车分别为 0.65、0.8、0.9；中小型汽车分别为：0.6、0.75、0.8。

2.3. 数据来源

近年来，新冠疫情对交通运输的影响较为严重，为了避免新冠的影响，同时为了根据当下的情况分析更加准确，本文以 2023 年为例测算公路营运客运汽车的碳排放量。2023 年末全国拥有公路营运汽车详情[8]如表 2 所示。

Table 2. The number of operating passenger vehicles in China in 2023 (Unit: 10,000 units)
表 2. 2023 年我国营运客运汽车保有量(单位：万辆)

营运客运汽车		
大型客车	中小型客车	总量
25.57	43.69	69.26

根据以上的计算模型，可以计算出营运客运汽车的年均行驶里程；截至 2023 年底，营运汽车客运总量为 1,101,153 万人，比上年下降 4.8%；旅客周转总量为 4740 亿人公里，比上年下降 4.6%；根据《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》可知其营运客车的详细汽车活动水平如表 3 所示。

Table 3. The activity level of operating passenger vehicles in China in 2023
表 3. 2023 年我国营运客运汽车活动水平

车辆类型	年均行驶里程/km	周转量/亿人公里	能源类型	单位行驶里程消耗量
大型客车	59000	2480	柴油	35 L (100 km)
			汽油	5.56 L (100 km)
中小型客车	74000	2260	柴油	35 L (100k m)
			汽油	5.56 L (100 km)

机动车辆的燃料消耗量可分为汽油和柴油两部分。大多数主要的公共交通巴士主要使用柴油[9]。柴油最重要的应用是大型营运客车。与汽油相比，柴油具有更高的能量密度和更低的燃料消耗。柴油的能耗低，所以一些小型车甚至高性能车也在改用柴油。高速柴油发动机(汽车用)比汽油发动机更经济。它们的碳排放系数相关参数指标[7]如表 4 所示。

排放因子是指消耗的每单位质量或体积的材料/能源所产生的碳排放量。碳排放系数是指消耗一单位资源所产生的温室气体量，代表某种资源或能源排放温室气体的特征[10]。本文根据 IPCC 国家温室气体清单指南发布的数据如表 5 所示。

Table 4. Parameters and indicators related to carbon emission coefficients
表 4. 碳排放系数相关参数指标

能源类型	缺省净发热值/(TJ/Gg)	单位热值含碳量/(kg/GJ)
汽油	44.3	18.9
柴油	43.0	20.2

Table 5. Carbon emission factors of various types of commercial passenger vehicles in 2023
表 5. 2023 年各类型营运客车碳排放因子

	大型客车	中小型客车
	柴油	柴油
CO ₂ 排放因子/(kg/GJ)	74.07	74.07

2.4. 碳排放总量

根据我国营运客运汽车活动水平表格和碳排放相关参数指标表格的确切数据，结合公式(1)~(5)计算得到 2023 年大型营运客车和中型营运客车的碳排放总量为表 6 所示。

Table 6. The total carbon emissions of road operation vehicles in 2023
表 6. 2023 年公路营运汽车碳排放总量

二氧化碳排放总量/t		
大型客车	中小型客车	合
276.08×10^5	3741.36×10^5	4017.44×10^5

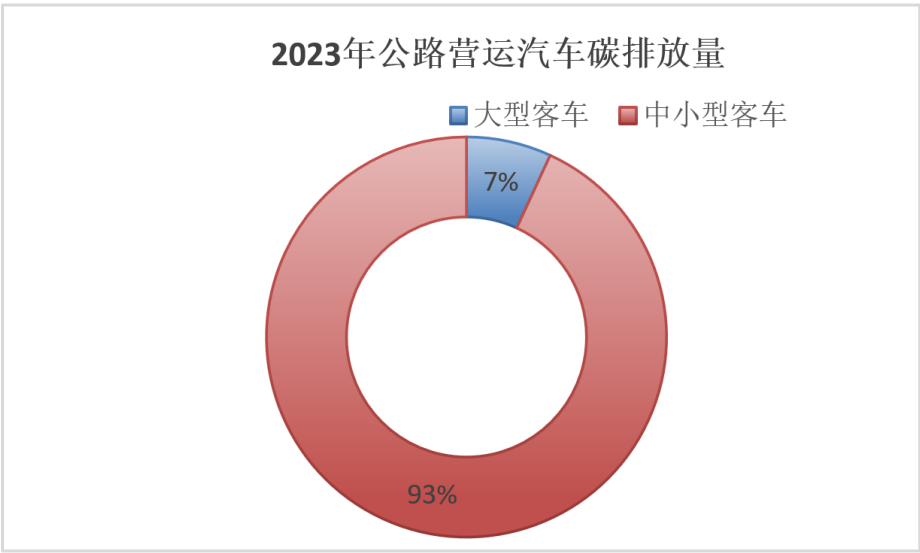


Figure 1. The total carbon emissions of road operation vehicles in 2023
图 1. 2023 年公路营运汽车碳排放总量

由图 1 可以清楚地看到，2023 年公路营运汽车碳排放总量为 4017.44×10^5 ，其中大型客车占比只为 6.87%，而中小型客车占比为 93.13%。由此可见，中小型客车是公路营运汽车 CO₂ 排放的主要来源，应该作为公路营运汽车，甚至应该作为汽车 CO₂ 排放控制的重点方向。

3. 碳排放空间分布

3.1. 我国分区碳排放量分析

我国地广物博，地理形势也存在很多的不同，因此交通运输的方式也存在着很多不同。比如：靠海的区域适用于海运，内陆地区有些地方适用于铁路有些地方只适用于公路运输，因此本文提出在不同的地理区域使用的交通运输方式不同，因而产生的交通运输碳排放量是差别很大的。

在本文只针对计算营运客车的二氧化碳排放量的情况下，对我国分出的华北、东北、华东、华中、华南、西南、西北这七个区域进行二氧化碳排放量的计算分析。

根据《2024 年中国统计年鉴》得到我国 2023 年不同区域公路营运汽车的活动水平如下表 7 所示。

Table 7. The activity level of operating vehicles on highways in seven major regions of China in 2023
表 7. 2023 年我国七大区域公路营运汽车活动水平

区域	地名	汽车保有量/(万辆)	客位数/(万客位)	旅客周转量/(亿人公里)
华北	北京	7.54	84.32	132.19
	天津	0.90	37.68	54.1
	河北	2.21	67.07	114.25
	山西	1.48	36.48	84.24
	内蒙古	1.10	38.36	68.8
东北	辽宁	2.79	84.31	141.61
	吉林	1.33	44.26	110.32
	黑龙江	1.63	52.56	112.08
华东	上海	4.51	65.78	71.8
	江苏	5.06	154.61	300.24
	浙江	2.08	74.56	250.33
	安徽	2.26	71.00	166.61
	福建	1.46	43.49	114.48
	江西	1.32	40.18	115.22
	山东	2.01	73.17	234.16
华中	河南	3.56	110.62	418.24
	湖北	3.15	78.37	167.83
	湖南	3.68	92.88	248.9
华南	广东	3.80	163.38	292.51
	广西	2.53	81.14	192.53
	海南	0.57	19.45	53.39
西南	重庆	1.98	45.72	138.84
	四川	4.83	113.19	284.14
	贵州	2.71	63.51	173.19
	云南	4.61	78.58	174.09
	西藏	0.48	8.79	24.75

续表

西北	陕西	1.90	56.36	145.19
	甘肃	1.89	42.26	116.98
	青海	0.36	10.88	60.45
	宁夏	0.47	15.01	42.29
	新疆	3.48	54.55	136.27

3.2. 我国分区碳排放总量

如表 8 所示，2023 年我国华东地区的公路营运汽车二氧化碳排放量最高，接着是华中地区、华南地区和西南地区二氧化碳排放量占比较大一些，最后西北地区、华北地区和东北地区的碳排放量占比较小；从下图 2 更加直观看出我国不同区域碳排放量的强度。因此，为减少公路营运汽车二氧化碳排放量，最好是从华东地区入手，根据华东地区的地理位置提出最优的减排措施。

Table 8. The total carbon emissions of road operation vehicles in the seven major regions of China in 2023
表 8. 2023 年我国七大区域公路营运汽车碳排放总量

我国不同区域营运客车二氧化碳排放量/t						
华北	东北	华东	华中	华南	西南	西北
301.81×10^5	258.64×10^5	1112.21×10^5	691.53×10^5	680.05×10^5	648.90×10^5	324.30×10^5

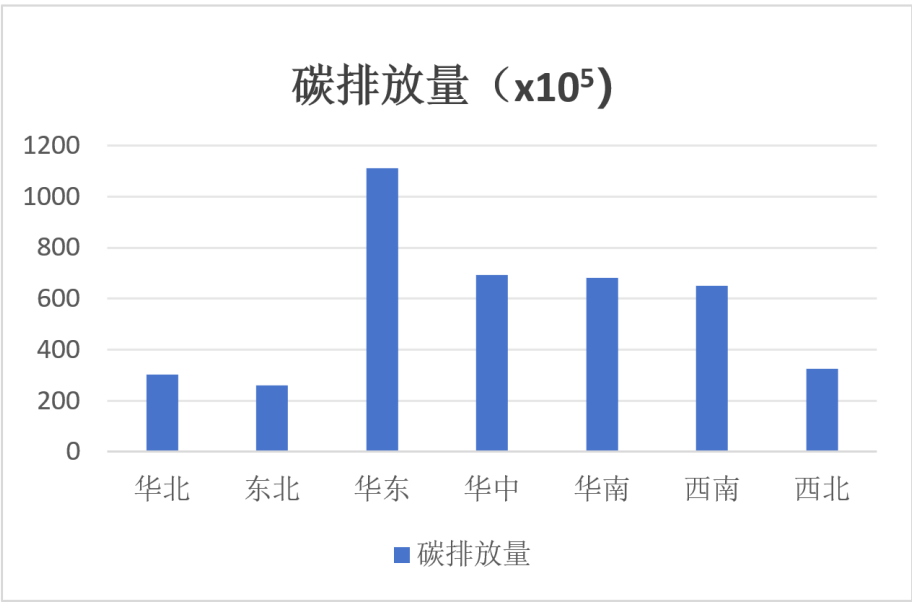


Figure 2. Carbon emission intensity in different geographical regions of our country
图 2. 我国不同地理区域碳排放强度

4. 华东区域碳排放驱动因素分析 PQ_i

根据表 7 内容，本文从华东地区作为研究对象来分析其二氧化碳排放量的驱动因素。华东地区作为我国综合水平最高的经济区、经济文化最发达的地区，仅占全国 8.7% 的陆地面积，却拥有全国 30% 以上的人口，近 40% 的 GDP [11]。因此本研究采用 LMDI 指数分解模型对影响因素进行分解[12]，分析 10 个

驱动因素的实际影响效应, 为华东地区客运营运汽车碳减排制定对应措施。

4.1. Kaya 恒等式与 LMDI 分解模型建立

根据华东地区的分布图, 因台湾地区数据缺失, 本文仅考虑上海市、江苏省、浙江省、山东省、福建省、安徽省、江西省。关于驱动因素的选取, 本文参考已有研究选取的部分因素, 如旅游交通运输强度[13]、能源强度[14]、旅游规模、能源效率[15]、客运营运汽车周转量、营运客运汽车保有量、营运客运汽车客位数、人均 GDP、人口规模、出行距离共 10 个驱动因素, 然后构建华东地区营运客车碳排放 LMDI 指数分解模型, 如下式(6)所示:

$$\begin{aligned} C &= \sum_{i=1}^7 C_i = \sum_{i=1}^7 \frac{C_i}{SC_i} \times \frac{SC_i}{GD_i} \times \frac{GD_i}{YC_i} \times \frac{YC_i}{PO_i} \times \frac{PO_i}{XL_i} \times \frac{XL_i}{TO_i} \times \frac{TO_i}{PA_i} \times \frac{PA_i}{EN_i} \times \frac{EN_i}{PO_i} \times PO_i \\ &= \sum_{i=1}^7 CS_i \times SG_i \times GY_i \times YP_i \times PX_i \times XT_i \times TP_i \times PE_i \times EP_i \times PO_i \end{aligned} \quad (6)$$

式中: C 为华东地区的营运客运汽车的二氧化碳排放总量; C_i 为华东地区各个省市的营运客运交通碳排放量, SC_i 为第 i 省市的第三产业增加值; GD_i 为第 i 省市的地区生产总值; YC_i 为第 i 省市的营运客运收入; PO_i 为第 i 省市的人口数; XL_i 为第 i 省市的营运客运汽车年均行驶里程; TO_i 为第 i 省市的客运周转量; PA_i 为第 i 省市的营运客运量; EN_i 为第 i 省市的营运客运能源消耗量; CS_i 表示第 i 省市的能源效率; SG_i 表示第 i 省市的营运客运产业贡献; GY_i 表示第 i 省市营运客运车辆保有量; YP_i 表示第 i 省市营运客运车辆客位数; PX_i 表示第 i 省市的人均 GDP; XT_i 表示第 i 省市的人口规模; TP_i 表示第 i 省市的乘客出行距离; PE_i 表示第 i 省市客运营运汽车交通强度表示第 i 省市的能源强度; EP_i 表示第 i 省市的旅游规模。

接下来对进行比较的年份碳排放量的变化量进行分解: t 期的碳排放量为 C , 基期的碳排放量为 C_0 , 其如下公式(7)所示:

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{\Delta C_t}{C_t}\right) &= \sum_{i=1}^7 \left(\ln\left(\frac{\Delta CS_i}{CS_i}\right) \times \ln\left(\frac{\Delta SG_i}{SG_i}\right) \times \ln\left(\frac{\Delta GY_i}{GY_i}\right) \times \ln\left(\frac{\Delta YP_i}{YP_i}\right) \times \ln\left(\frac{\Delta PX_i}{PX_i}\right) \right. \\ &\quad \left. \times \ln\left(\frac{\Delta XT_i}{XT_i}\right) \times \ln\left(\frac{\Delta TP_i}{TP_i}\right) \times \ln\left(\frac{\Delta PE_i}{PE_i}\right) \times \ln\left(\frac{\Delta EP_i}{EP_i}\right) \times \ln\left(\frac{\Delta PO_i}{PO_i}\right) \right) \end{aligned} \quad (7)$$

根据 LMDI 分解模型可知, 公式(7)中的每一项分别表示了能源效率、营运客运产业贡献、营运客运汽车保有量、营运客运汽车客位数、人均 GDP、人口规模、出行距离、营运客运交通运输强度、能源强度和旅游规模这 10 个因素对华东地区营运客运汽车二氧化碳排放的影响。

4.2. 数据来源

根据前面营运客运汽车总碳排放量的数据来源, 可做大致的参考。其华东地区的数据主要来自于《中国统计年鉴 2001 年~2024 年版》、华东地区各省市的《国民经济与社会发展统计公报——2023 年版》[16]和一些相关的文献数据, 缺失的小部分数据通过一些预测方法进行计算。通过这些具有权威性的文件和文献, 该文章的数据具有可行性和准确性。

4.3. 结果分析

使用 LMDI 指数分解模型对华东地区 2001 年~2023 年营运客车碳排放进行完全分解, 分解结果和影响效应如下表 9 所示。旅游规模、营运客运汽车保有量、人均 GDP、人口规模和出行距离为正向驱动因素, 而运输强度、能源强度、能源效率、客运营运汽车产业贡献、和营运客运汽车客位数是负向驱动因素。

Table 9. The influence effect of driving factors on the carbon emissions of road passenger transport vehicles
表 9. 驱动因素对公路营运客运汽车碳排放的影响效应

驱动因素	影响效应%
运输强度	-81.1
能源强度	-42.4
旅游规模	96.9
能源效率	-107.2
客运营运汽车产业贡献	-10.1
营运客运汽车保有量	93.4
营运客运汽车客位数	-41.9
人均 GDP	61.8
人口规模	19.2
出行距离	40.3

5. 结论

1) 2023 年我国公路营运客运汽车的二氧化碳排放量为 $4017.44 \times 10^5 \text{t}$ ，其中大型客车的碳排放量占比为 7% 左右，大约 $276.08 \times 10^5 \text{t}$ ，而中小型客车的碳排放量占比在 93%，大约 $3741.36 \times 10^5 \text{t}$ ，因此，在公路营运客运汽车减排的措施方面，应该着重从中小型客车入手，控制其汽车车辆数、推广新型能源汽车技术、提高燃油效率灯等方式来降低中小型客运汽车的碳排放。

2) 通过在我国划区域的分析公路营运汽车碳排放情况来看，华东地区的二氧化碳排放量占比最大，根据华东地区的地理优势可以提出相对应的减排方式，因为华东地区的七个省市中，有山东、江苏、上海、浙江、福建五个省市处于沿海区域，所以针对中小型客车，可推广新能源出租车/网约车、优化城市交通管理以减少拥堵；针对大型客车，可提升长途客运的能源效率、发展与高铁等方式的多式联运。

3) 用 LMDI 分解模型对营运客运汽车高碳排放量的华东地区进行驱动因素分析可知，能源效益与运输强度是影响华东地区营运客运汽车碳排放的显著因素，应该采取提升能源效率等相对应的措施。

4) 本文存在一些不足之处：首先是没有对多年的公路营运客运汽车碳排放总量数据进行处理和对比，只计算了 2023 年公路营运客运汽车的碳排放总量；其次是在 LMDI 模型中的影响因素选取方面，大多数都是参考其他学者的影响因素选取，未自行调研出最可靠的影响因素；最后从时间维度，未描述华东地区营运客运汽车二氧化碳排放量受驱动因素的影响效应呈现的具体变化图。

参考文献

- [1] 傅志寰, 翁孟勇, 张晓璇, 孙虎成, 孙静, 付振茹. 我国智慧公路发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(6): 150-159.
- [2] 崔倩, 周志祥, 官冬杰, 等. 交通碳排放核算、模拟及影响因素研究进展[J]. 环境工程, 2025, 43(1): 31-41.
- [3] 庄颖, 夏斌. 广东省交通碳排放核算及影响因素分析[J]. 环境科学研究, 2017, 30(7): 1154-1162.
- [4] 田佩宁, 毛保华, 童瑞咏, 等. 我国交通运输行业及不同运输方式的碳排放水平和强度分析[J]. 气候变化研究进展, 2023, 19(3): 347-356.
- [5] 李晓易, 吴睿. 交通运输温室气体核算边界和测算方法研究[J]. 气候变化研究进展, 2023, 19(1): 84-90.
- [6] Amstel, A.V. (2006) IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- [7] 余艳春, 虞明远. 我国公路营运汽车污染物排放量总量及预测[J]. 公路交通科技, 2008, 25(6): 154-158.

- [8] 本刊. 交通部发布《2022 年交通运输行业发展统计公报》: 我国公路营运汽车 1222.08 万辆, 牵引车 354.18 万辆[J]. 商用汽车, 2023(4): 6.
- [9] 周嘉仪, 李楠, 冯伟航, 汤克勤, 朱书涵, 朱文达. 我国道路源二氧化碳排放估算及未来情景预测[J]. 环境科学学报, 2023, 43(10): 267-278.
- [10] 李思慧, 李仪弟, 黄世清. 铁路桥梁建设期不同预制方案碳排放对比分析[J]. 铁道标准设计, 2023(10): 1-9.
- [11] 刘俊豪, 刘榆欣, 黄蕾. 中国华东地区旅游交通碳排放测度与驱动因素分析[J]. 环境科学研究, 2023, 10(1): 1-16.
- [12] 胡程, 丁正山, 穆学青, 郭向阳, 杜钟婧. 长江经济带旅游交通碳排放时空演变及驱动因素[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2022, 45(1): 40-48.
- [13] Ang, B.W. (2004) Decomposition Analysis for Policymaking in Energy: Which Is the Preferred Method? *Energy Policy*, **32**, 1131-1139. [https://doi.org/10.1016/s0301-4215\(03\)00076-4](https://doi.org/10.1016/s0301-4215(03)00076-4)
- [14] 郭向阳, 穆学青, 明庆忠, 等. 中国旅游交通碳排放格局及影响因素解析[J]. 地理与地理信息科学, 2022, 38(2): 129-136.
- [15] 王杰, 郑琰, 姜晓红. 西南地区交通运输业碳排放测算与驱动因素分析[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学, 2023, 37(1): 249-256.
- [16] 国家统计局. 中华人民共和国 2023 年国民经济和社会发展统计公报[J]. 中国统计, 2013(3): 4-21.