

基于多源统计数据的城市交通碳排放核算

刘 博, 李文翔*, 庞树霞, 丁龙远, 李彦楠

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2025年3月11日; 录用日期: 2025年4月4日; 发布日期: 2025年4月15日

摘 要

本研究基于多源城市交通统计数据, 分别采用了适用于不同交通方式的碳排放核算方法, 包括行驶里程法、周转量法和机场起降法, 对城市交通碳排放进行了核算。行驶里程法基于交通工具的行驶距离和单位里程的碳排放因子计算排放; 周转量法根据客货运输的周转量和相应的排放因子计算排放; 机场起降法则针对航空交通, 基于起降次数和航空器的排放特性进行计算。这些方法结合统计数据、国家和地方的碳排放因子以及交通运输里程数据, 可核算道路交通、铁路交通、城市轨道交通、水路交通和航空交通的碳排放量。以杭州市为例, 研究利用2019~2021年的相关数据进行分析。结果显示, 杭州市三年的交通总碳排放量分别为2011.37万吨、2199.55万吨和2493.60万吨。其中, 道路交通碳排放占比超过90%, 是交通碳排放的主要来源。小型客车是道路交通碳排放的主要贡献者, 其次是重型货车。针对这一结果, 建议优先从道路交通入手, 特别是针对小型客车和重型货车采取有效的减排措施。基于杭州市交通碳排放的特征和挑战, 本研究提出了三项低碳交通政策建议, 以促进城市交通的可持续发展。

关键词

城市交通, 碳排放核算, 低碳交通, 统计数据

Carbon emission Accounting of Urban Transportation Based on Multi-Source Statistical Data

Bo Liu, Wenxiang Li*, Shuxia Pang, Longyuan Ding, Yannan Li

Business School, University of Shanghai for Science and Technology (USST), Shanghai

Received: Mar. 11th, 2025; accepted: Apr. 4th, 2025; published: Apr. 15th, 2025

Abstract

Based on multi-source urban traffic statistical data, this study used carbon emission accounting

*通讯作者。

文章引用: 刘博, 李文翔, 庞树霞, 丁龙远, 李彦楠. 基于多源统计数据的城市交通碳排放核算[J]. 建模与仿真, 2025, 14(4): 306-316. DOI: 10.12677/mos.2025.144288

methods suitable for different modes of transportation, including mileage method, turnover method and airport take-off and landing method, to calculate urban traffic carbon emissions. The mileage method calculates emissions based on the driving distance of the vehicle and the carbon emission factor per unit mileage; the turnover method calculates emissions based on the turnover of passenger and freight transportation and the corresponding emission factors; the airport take-off and landing method is for air traffic, based on the number of take-offs and landings and the emission characteristics of aircraft. These methods, combined with statistical data, national and local carbon emission factors, and transportation mileage data, can calculate the carbon emissions of road traffic, railway traffic, urban rail transit, waterway traffic and air traffic. Taking Hangzhou as an example, the study used relevant data from 2019 to 2021 for analysis. The results show that the total carbon emissions of Hangzhou's transportation in the past three years were 20.1137 million tons, 21.9955 million tons and 24.9360 million tons respectively. Among them, road traffic carbon emissions account for more than 90%, which is the main source of transportation carbon emissions. Small passenger cars are the main contributors to road traffic carbon emissions, followed by heavy trucks. In view of this result, it is recommended to start with road traffic first, especially to take effective emission reduction measures for small passenger cars and heavy trucks. Based on the characteristics and challenges of carbon emissions from transportation in Hangzhou, this study puts forward three low-carbon transportation policy recommendations to promote the sustainable development of urban transportation.

Keywords

Urban Transportation, Carbon Emission Accounting, Low-Carbon Transportation, Statistical Data

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

实现“碳达峰碳中和”目标是我国应对全球气候变化的重大战略部署，城市是全球碳排放的主要源头之一，而交通部门又是城市碳排放的重要来源。通过对城市交通碳排放的核算，可以深入剖析不同交通方式及其行为对城市碳排放的贡献，识别主要排放来源及其影响因素，从而为城市制定科学的减排措施和政策提供依据，助力“双碳”目标的实现。

根据计算尺度和范围，交通碳排放核算主要分为国家层面、省级(区域)层面和城市层面[1]。就城市层面交通碳排放而言，已有研究主要采用“自上而下”或“自下而上”的方法核算城市边界内的总碳排放[2]。对于“自上而下”的方法，即按照地区范围内的交通运输行业能源消耗数据乘以燃料碳排放系数计算交通碳排放量。例如，Wang [3]基于煤炭、汽油、柴油、煤油、燃料油、液化石油气和天然气等能源消耗数据，计算了我国东部、中部、西部地区交通运输部门的碳排放。对于“自下而上”的方法，即根据各种交通方式的活动水平(如行驶里程、周转量等)乘以单位活动水平的碳排放因子来计算交通碳排放量。如Fan 等[4]基于活动水平的历史统计数据及情景假设，预测了北京市公共交通、出租车和网约车等不同客运方式的能源消耗和碳排放量变化趋势。

杭州市作为浙江省省会和长三角地区重要的特大城市，拥有高度发达的经济、密集的人口和便捷的交通网络。其交通体系涵盖道路交通、轨道交通、航空交通和水路交通等多种方式，统计数据详实，为研究提供了坚实基础。因此，本文选取杭州市作为研究对象，运用多种方法核算其 2019~2021 年间的交通碳排放，以揭示其排放特征并为减排策略提供支持。

2. 城市交通碳排放核算方法

为提高碳排放核算的科学性与合理性,本文针对不同类别的交通运输方式(道路交通、铁路交通、水路交通和航空交通),综合考虑数据可获得性、计算精度及适用范围,选择了行驶里程法、周转量法和机场起降法三种核算方法,具体技术路线如图1所示。此外,鉴于杭州市公路交通的客货运周转量数据较为完整,本文尝试采用周转量法对公路交通碳排放进行核算。然而,由于公路交通的周转量排放已包含在道路交通整体排放中,为避免重复计算并确保核算方法的一致性,最终本文以行驶里程法的计算结果作为道路交通碳排放的最终核算值。

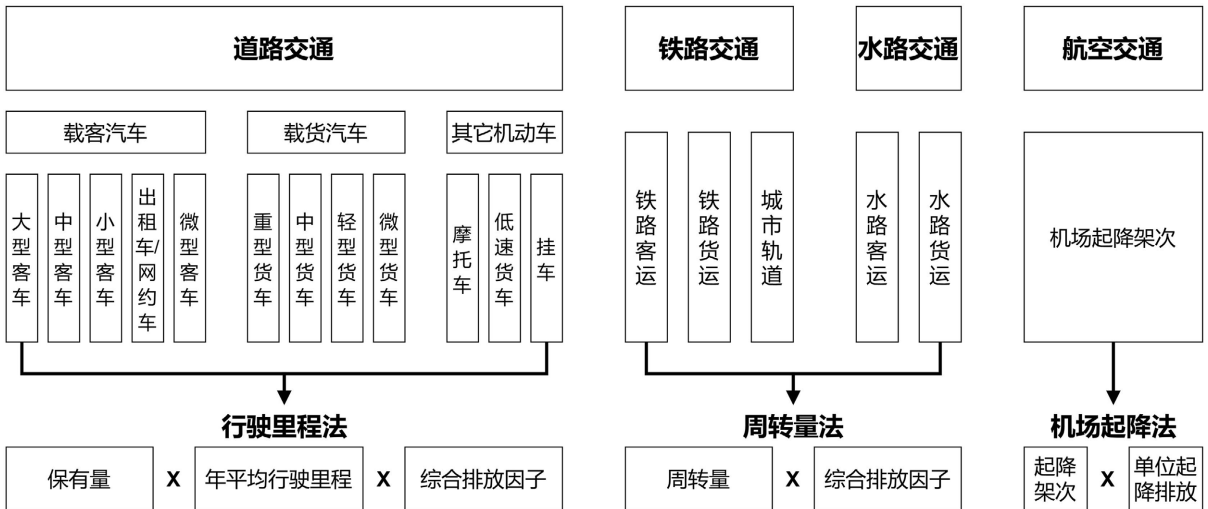


Figure 1. Technical route for urban transportation carbon emission accounting

图1. 城市交通碳排放核算技术路线

2.1. 行驶里程法

为更精确地核算城市道路交通的碳排放,本文基于城市详尽的机动车分类统计数据,采用“自下而上”的行驶里程法。该方法通过结合车辆行驶里程与单位里程排放因子计算碳排放量,其理论依据源自IPCC《国家温室气体清单指南》中移动源排放核算框架,适用于城市层面车辆活动水平数据较为完备的场景[5]。相较于“自上而下”的能源消耗法,行驶里程法能更细致地反映不同车型的排放差异,有效评估移动源的排放水平,具有较高的适用性和准确性;但局限性在于未考虑实际行驶工况(如拥堵、怠速)对排放因子的动态影响。行驶里程法计算道路交通部门碳排放模型如式(1):

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

式中: E_R 为道路交通部门的 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 CO_2 综合排放因子(kg/辆 km)。

由于现有统计资料的不完全,本文暂未将其它诸如农用运输车、专业作业车等数量很少且难以获取行驶里程和综合排放因子的机动车纳入道路交通碳排放核算清单。

2.2. 周转量法

对于铁路、水路、公路及城市轨道交通的碳排放核算,本研究采用周转量法。该方法的理论依据源

于 IPCC《国家温室气体清单指南》中“基于活动水平”的核算框架[5]，其核心逻辑是通过客货运周转量乘以单位周转量综合排放因子计算碳排放量。周转量法尤其适用于规模化、网络化运输系统(如铁路干线、内河航运)，因其运输路径相对固定，周转量数据可准确表征运输活动的整体规模，避免因分散车辆里程统计导致的误差。此外，客货运周转量通常由交通管理部门系统统计，数据覆盖全面且标准化程度高，能够支撑城市层面的精细化核算。相较于其他方法，周转量法的优越性在于计算效率高，可快速核算大规模运输网络碳排放，且便于与宏观政策目标衔接，支撑减排效果评估。但同时，周转量法也存在依赖排放因子且忽略微观变量的局限性，因此若需在微观层面进行碳排放核算，则需考虑其适用性。周转量法计算客货运碳排放模型如式(2)：

$$E_T = \sum_m V_m * EF_m \quad (2)$$

式中： E_T 为交通运输周转的 CO₂ 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； V_m 为 m 类交通运输周转的数量(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。

2.3. 机场起降法

针对城市航空交通的碳排放核算，传统基于周转量的方法存在数据获取困难的问题，例如缺乏运输里程或综合排放因子等关键参数，导致计算精度较低，难以满足城市层面的精准核算需求。在现有的机场碳排放计算方法中，主要包括国际民用航空组织(ICAO)的碳排放计算方法、欧洲监测与评估计划(EMEP)方法以及美国环境保护署(EPA)方法。其中，ICAO 提出的 LTO (Landing and Take-Off)循环排放模型因其广泛的适用性和较高的精度，被行业普遍采用。该模型通过对航空器在起降循环四个阶段(起飞、爬升、进近和滑行)的能源消耗、排放类型及其演化特征进行碳排放量核算[6] [7]。但机场起降法仅考虑航空器在机场四个阶段的碳排放，而不涉及巡航阶段的排放；不适用于国家或全球范围的航空碳排放核算。因此，综合考虑核算精度和适用性，本研究选用机场起降法(LTO 法)进行城市航空交通碳排放核算。根据 ICAO 的推荐，LTO 各阶段的标准运行时间分别为：起飞阶段 4 min，爬升阶段 2.2 min，进近阶段 4 min，滑行阶段 26 min。根据发动机参数计算起降阶段燃油消耗模型如式(3)：

$$F_i = \sum_j R_{ij} * M_i * T_{ij} * 60 \quad (3)$$

式中： F_i 为一架 i 类航空器在一个起降循环中消耗的燃油量(kg)； j 为一个起降循环(起飞、爬升、进近和滑行)的 4 个运行阶段； R_{ij} 为航空器 i 单个发动机在 j 运行阶段的燃油消耗率(kg/sec)； M_i 为航空器 i 装备的发动机数量； T_{ij} 为一架 i 类航空器在 j 运行阶段的标准时长(min)。

起降法计算机场碳排放模型如式(4)：

$$E_A = \sum_i F_i * EF_a * n_i * 0.5 \quad (4)$$

式中： E_A 为机场内各类航空器 LTO(起降循环)产生的 CO₂ 排放总量(kg)； EF_a 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。

根据中国民航局发布的《2021 年民航行业发展统计公报》，民航飞机数量中窄体飞机占比 78.4%；波音 B737 型飞机是国内窄体飞机中最常见的机型之一，具有较好的代表性。由于杭州萧山国际机场起降飞机型号及对应数量未在公开渠道披露，因此本文在仿真中假设机场起降飞机均为波音 B737 型飞机，其发动机型号为 CFM56-7B22，对应 ICAO 发动机排放数据库相关信息见表 1。

Table 1. CFM56-7B22 engine parameters
表 1. CFM56-7B22 发动机参数

发动机状态	推力设置(%)	工作时间(min)	燃油流量(kg/sec)
起飞	100	0.7	1.021
爬升	85	2.2	0.844
进近	30	4.0	0.298
滑行	7	26.0	0.105

3. 数据

3.1. 机动车数据

作为长三角地区核心城市，杭州市机动车保有量呈现基数庞大且持续攀升的特征。如表 2 所示，2019~2021 年间，全市机动车总量由 296.3 万辆增至 375.1 万辆，年均复合增长率达 8.2%。从结构分布看，载客汽车占比稳定在 80%以上，其中小型客车占据绝对主体。这一交通结构表明，机动车在为城市居民出行与物流系统提供支撑的同时，已成为碳排放控制的关键领域。值得注意的是，杭州市自 2016 年入选国家新能源汽车推广应用城市以来，通过牌照政策倾斜与充电设施建设，新能源车辆渗透率逐年提升。然而，新能源车辆在整体机动车构成中仍处于补充地位，传统燃油车的主导地位短期内难以撼动，导致交通碳锁定效应持续加剧。

本研究数据来源为《杭州市统计年鉴》(2019~2021 年)中经官方核验的机动车分类统计资料。受限于统计体系的完整性，农用运输车、专项作业车等特殊车型因缺乏分车型行驶里程与排放因子数据，未被纳入核算范围。此部分缺失可能导致碳排放总量核算值存在很小程度的系统性低估，但主体结论的稳健性不受影响。

Table 2. Motor vehicle ownership in Hangzhou from 2019 to 2021 (calculation part)
表 2. 杭州市 2019~2021 年机动车保有量(核算部分)

机动车保有量	2019 年	2020 年	2021 年
一、汽车	2,963,388	3,105,384	3,751,062
1) 载客汽车	2,399,022	2,497,100	3,109,706
大型	20,907	20,470	18,785
中型	7628	7394	7233
小型	2,351,862	2,451,908	3,068,721
微型	18,625	17,328	14,967
2) 载货汽车	259,746	302,251	328,509
重型	71,102	92,122	97,945
中型	6611	7065	6892
轻型	181,872	202,969	223,641
微型	161	95	31
3) 其他汽车	304,620	306,033	312,847
低速货车	724	680	649
摩托车	281,403	273,133	276,411
挂车	22,493	32,220	35,787

年平均行驶里程(VKT)是指在一年内某类型所有机动车辆的累计行驶里程与该类型机动车数量之商。VKT 是一个重要的交通运输指标,用于评估交通运输对环境和能源消耗的影响,以及交通需求、道路拥堵、空气污染、能源消耗等方面的状况[8][9]。本文采用了生态环境部发布的《道路机动车排放清单编制技术指南(试行)》中所推荐的机动车分车型 VKT 数据,这一数据来源具有权威性与规范性,见表 3。

Table 3. Average annual mileage of road vehicles

表 3. 道路机动车年均行驶里程表

机动车类型	年均行驶里程 VKT (km)
微型、小型载客车	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
摩托车	6,000
低速货车	30,000

根据杭州市环境保护科学研究院基于 IVE 模型和大数据分析对杭州市道路移动源主要温室气体排放清单的研究,其基于杭州市机动车排放管理数据库中杭州市机动车的车型构成、车辆行驶工况、环境温度等基础数据,利用 IVE 模型,通过修正参数乘以基础排放因子,计算得到了杭州市各种技术类型车辆的修正后的温室气体排放因子[10]。本文选取文中给出的杭州市本地化的综合碳排放因子进行道路交通碳排放核算,其具体数值如表 4 所示。

Table 4. Comprehensive carbon emission factors by vehicle type in Hangzhou

表 4. 杭州市分车型综合碳排放因子

车型	小微型客车	轻微型货车	大中型客车	中重型货车	出租车	摩托车	牵引车
CO ₂ 综合排放因子 (g/km)	210.528	225.579	633.716	601.292	255.002	51.032	601.292

3.2. 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,表 5 给出了杭州市在 2019~2021 年的客货运量及周转量数据。

如表 6 所示,基于国内对交通运输业不同方式碳排放因子水平的相关研究[11]-[13],得到了铁路及水路客货运周转量碳排放因子;由于暂未获得精确的杭州市级城市轨道交通碳排放因子数据,根据中国城市轨道交通协会发布的报告,北京市轨道交通每人公里牵引能耗与杭州市相近。因此本文的城市轨道交通客货运周转量碳排放因子选用了《北京市低碳出行碳减排方法学(试行版)》推荐值。

Table 5. Statistics of passenger and freight turnover in Hangzhou from 2019 to 2021
表 5. 杭州市 2019~2021 年客货运周转量统计表

客货运周转量类别	2019 年	2020 年	2021 年
一、客运量合计(万人次)	20,888	12,183	13,823
铁路客运量	8874	5895	6914
民航客运量	2044	1414	1432
公路客运量	9360	4535	5042
水路客运量	610	339	436
二、旅客周转量合计(万人公里)	700,446	387,013	457,260
公路旅客周转量	689,970	381,790	450,070
水路旅客周转量	10,476	5223	7190
三、货运量合计(万吨)	36,384	41,944	46,997
铁路货运量	537	578	498
民航货运量	41	46	50
公路货运量	31,732	34,837	38,804
水路货运量	4073	6483	7645
四、货运周转量合计(万吨公里)	5,534,460	10,070,617	10,472,959
公路货物周转量	3,928,822	4,599,433	5,521,947
水路货物周转量	1,605,638	5,471,184	4,951,012
五、城市轨交周转量合计(万人次公里)	545,606	495,697	787,600

Table 6. Carbon emission factors of passenger and freight turnover in 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	城市轨道交通
客运周转量碳排放因子(kg/pkm)	0.027	0.008	0.0286
货运周转量碳排放因子(kg/tkm)	0.008	0.008	\

3.3. 其它数据

由于难以获得杭州市级铁路运输的客货运周转量统计资料，杭州市级统计资料可获得客货运量，缺少铁路运输距离数据，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，以此来计算出杭州市铁路运输客货运周转量。浙江省铁路运输客货运平均运距如表 7 所示。

Table 7. Average distance of passenger and freight transport by railway 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)
2019	24074.0	743.3	308.7	3936.0	235.4	598.1
2020	15719.0	464.7	295.6	4083.0	230.3	564.1
2021	18146.0	531.8	293.1	4471.0	269.7	603.3

另根据杭州市统计资料，杭州萧山国际机场在 2019~2021 三年的民航起降架次分别为 290,919，237,362，238,269 架次，此数据用于机场起降法计算杭州市航空交通的碳排放情况。

4. 结果分析

根据所获取的杭州市统计数据、碳排放因子数据、交通运输里程数据等，结合行驶里程法、周转量法、机场起降法三种碳排放核算方法，本文计算得出了杭州市 2019~2021 年各交通方式的碳排放量，如表 8 所示。

Table 8. Carbon emissions accounting results of various modes of transportation in Hangzhou from 2019 to 2021 (10,000 tons)
表 8. 杭州市 2019~2021 年各交通方式碳排放核算结果(万吨)

交通方式	2019 碳排放	2020 碳排放	2021 碳排放
道路	1888	2077	2360
铁路	77	50	57
地铁	16	14	23
水运	13	44	40
航空	18	15	15

对各交通方式每年的碳排放量进行求和，可得到杭州市交通部门在 2019~2021 三年的总碳排放量，结合杭州市对应每年的 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. Hangzhou's carbon emission indicators from 2019 to 2021
表 9. 杭州市 2019~2021 年各碳排放指标

指标	2019 年	2020 年	2021 年
总碳排放(万吨)	2011.37	2199.55	2493.60
单位 GDP 碳排放(g/元)	13.04	13.57	13.77
人均碳排放(kg/人)	1732.00	1838.32	2043.27

在计算出各交通方式碳排放数据的基础上，对核算结果进行统计分析。由图 2 及图 3 可以看出，在 2019~2021 三年间，道路交通碳排放一直远远大于其它各交通方式的碳排放，占据了交通碳排放的绝对多数，其次是铁路，但铁路在总量上占比仍旧很低。在此需要特别说明的是，由于道路交通碳排放采用的是基于机动车保有量的行驶里程法，本文所取的机动车年平均行驶里程为固定值，无法获得 2020 年疫情后的机动车实际年平均行驶里程，因此道路交通碳排放数据未受到疫情的较大影响，很可能与实际情况存在一定偏差。

如图 4 所示，对于非道路的其他交通方式碳排放，如铁路、地铁及航空交通，在 2020 年均出现了较为明显的碳排放量下降的情况，绝对值相对 2019 年有所减少，但在 2021 年，这三种交通方式的碳排放量又有所增长，反映了疫情形势的变化对交通碳排放的较大影响。值得注意的是，水运交通在 2020 年的碳排放量较 2019 年出现了非常大幅度的增长，在 2021 年又有所下滑但体量大致保持；经分析，本文发现杭州市在 2020 年的水路货运周转量约为 2019 年的 3 倍，因此导致水运交通的碳排放出现较大增长。

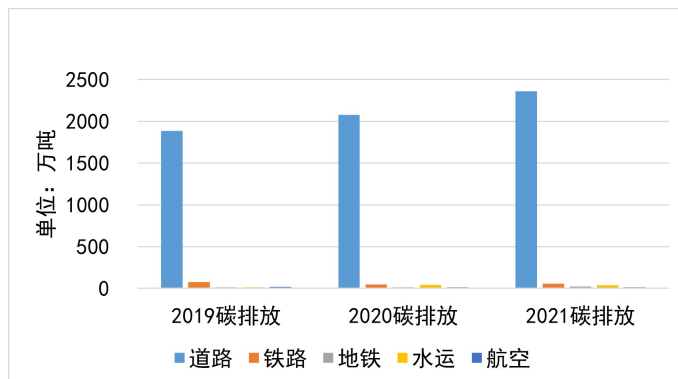


Figure 2. Carbon emissions by transportation mode in Hangzhou from 2019 to 2021

图 2. 杭州市 2019~2021 各交通方式碳排放量

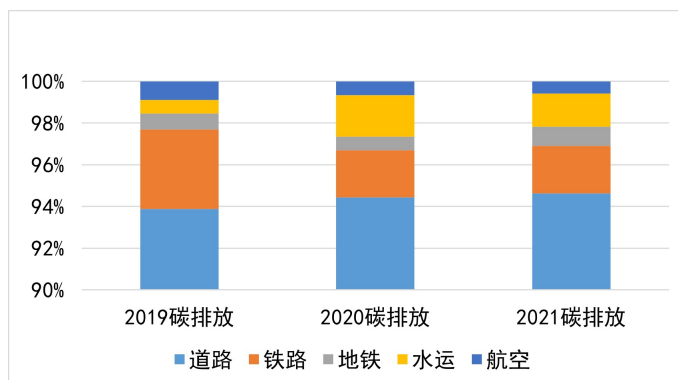


Figure 3. Carbon emissions share of each mode of transportation in Hangzhou from 2019 to 2021

图 3. 杭州市 2019~2021 各交通方式间碳排放占比

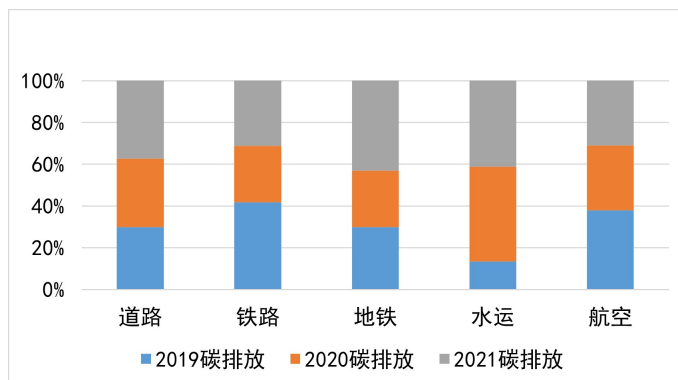


Figure 4. Carbon emission ratio in various transportation modes in Hangzhou from 2019 to 2021

图 4. 杭州市 2019~2021 各交通方式内碳排放占比

对于道路交通碳排放,如图 5 所示为杭州市 2019~2021 年各大类机动车的碳排放量情况,可见载客汽车一直为机动车碳排放中数量最大的类型,其次为载货汽车,最后是其它类型的机动车。由于三年采用相同的机动车年均行驶里程,因此三者碳排放量都并未受疫情太大影响,碳排放量均有一定范围的增

长。但不难发现在 2020 年的载客汽车碳排放量仅有较小增长,其增长幅度低于载货汽车,因此本文推测可能因为疫情影响了城市居民的消费意愿,使得载客汽车保有量并未出现较大增长,最终反映到载客汽车碳排放量也未有明显增长。

结合图 6 杭州市在 2019~2021 各小类机动车碳排放量,可以粗略地印证上述推测,即小型客车的碳排在 2020 年基本与 2019 年持平,但在 2021 年却有较大幅度的增长。就细分机动车型而言,小型客车(不含出租车)在三年间一直是机动车碳排放的最大源头,其次是出租车网约车与重型货车。要实现城市交通的减排,可以优先从这几类较大的交通碳排放源头入手。

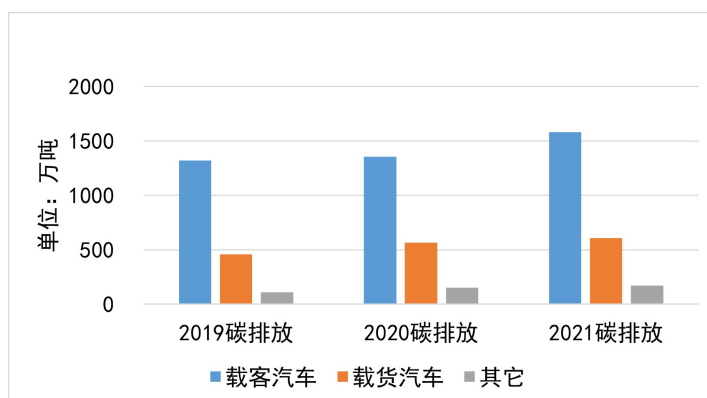


Figure 5. Carbon emissions of major motor vehicles in Hangzhou City from 2019 to 2021

图 5. 杭州市 2019~2021 各大类机动车碳排放量

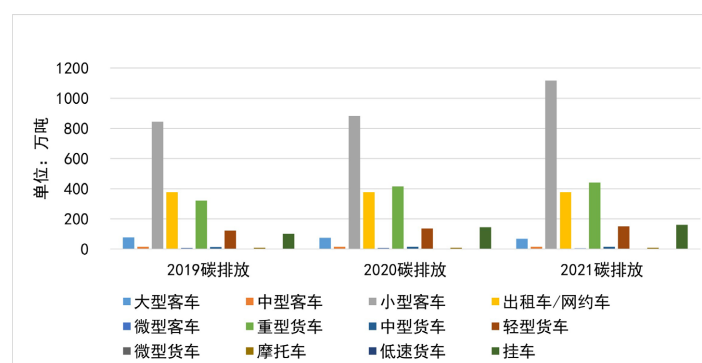


Figure 6. Carbon emissions of various sub-categories of motor vehicles in Hangzhou City from 2019 to 2021

图 6. 杭州市 2019~2021 各小类机动车碳排放量

5. 结论

本文基于杭州市 2019 年至 2021 年的统计数据,结合国家和地方的碳排放因子数据、交通运输里程数据等,采用行驶里程法、周转量法和机场起降法三种碳排放核算方法,分别对杭州市在上述三年间的道路交通、铁路交通、城市轨道交通、水路交通和航空交通的碳排放量进行了核算。通过对各交通方式年度碳排放量的汇总,得出杭州市三年交通总碳排放量分别为 2011.37 万吨、2199.55 万吨和 2493.60 万吨。此外,结合相应年度的 GDP 数据和常住人口数据,进一步计算了单位 GDP 碳排放量和人均碳排放量。在各类交通碳排放源中,道路交通碳排放占据主导地位,其比例超过交通总碳排放的 90%。进一步按机动车类型细分道路交通排放发现,小型客车(包括出租车和网约车)是主要排放来源,其次为重型货车。

因此,为实现城市交通碳减排,应重点关注道路交通,特别是小型客车和重型货车,通过减少这些高碳排放交通工具的使用,推动城市交通碳排放的有效降低。为解决城市交通碳排放问题,可采取以下3点城市低碳交通政策措施:

1) 加速推广新能源汽车,优化充电基础设施布局:针对杭州市小型客车保有量高、道路交通碳排放量大的问题,鼓励居民购买和使用新能源汽车,提供购置补贴和税收优惠等激励措施;同时,重点在居民区、商业中心和公共停车场等地增加充电桩数量,确保充电设施的便利性和可达性,以提升新能源汽车的使用比例,从而降低减少传统燃油车的碳排放。

2) 推动公共交通主导的多模式组合出行发展:针对杭州市出租车和网约车排放较大的问题,可优化公共交通服务,在高峰时段增加公交和地铁班次,提升舒适度,并采取智能调度措施保障准点率;在组合出行模式下,倡导公交、步行和骑行等低碳出行方式,促进多种交通方式融合,提高换乘便利性,从而吸引更多市民优先选择公共交通,降低出租车和网约车使用频率,以此减少其碳排放。

3) 建设低碳的城市货运体系:针对杭州市货运碳排放高的问题,可推广新能源和清洁能源货运车辆,提供购置补贴和税收减免,并完善充电、加氢设施,提高新能源货车使用率;同时,优化城市货运配送体系,推行集中配送和智能调度,减少空驶率和不必要的行驶里程;实行城市货运分级管控,限制高排放重型货车在高峰时段进城,鼓励夜间或低峰时段配送,并推动终端配送采用新能源轻型货车,以提高货运效率,降低货运单位周转量碳排放,实现低碳货运。

基金项目

教育部人文社会科学研究项目(24YJCZH147);上海市哲学社会科学规划青年课题(2023ECK003)。

参考文献

- [1] Li, F., Cai, B., Ye, Z., Wang, Z., Zhang, W., Zhou, P., et al. (2019) Changing Patterns and Determinants of Transportation Carbon Emissions in Chinese Cities. *Energy*, **174**, 562-575. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.179>
- [2] Li, W., Bao, L., Li, Y., Si, H. and Li, Y. (2022) Assessing the Transition to Low-Carbon Urban Transport: A Global Comparison. *Resources, Conservation and Recycling*, **180**, Article 106179. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106179>
- [3] Wang, Q. and Wang, S. (2019) A Comparison of Decomposition the Decoupling Carbon Emissions from Economic Growth in Transport Sector of Selected Provinces in Eastern, Central and Western China. *Journal of Cleaner Production*, **229**, 570-581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.375>
- [4] Fan, J., Wang, J., Li, F., Yu, H. and Zhang, X. (2017) Energy Demand and Greenhouse Gas Emissions of Urban Passenger Transport in the Internet Era: A Case Study of Beijing. *Journal of Cleaner Production*, **165**, 177-189. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.106>
- [5] Change, I. (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan.
- [6] 田利军, 徐森雨, 李一博, 黎杰. 基于 STIRPAT 模型的天津滨海国际机场航空器碳排放峰值预测研究[J]. 天津商业大学学报, 2023, 43(2): 33-40.
- [7] 尤倩, 李洪枚, 伯鑫, 等. 中国民用航空机场大气污染物及碳排放清单[J]. 中国环境科学, 2022, 42(10): 4517-4524.
- [8] 世界资源研究所. 武汉市交通碳排放达峰路径研究[R]. 2019.
- [9] 世界资源研究所. 城市的交通“净零”排放: 路径分析方法、关键举措和对策建议[R]. 2020.
- [10] 唐伟, 何平, 杨强, 等. 基于 IVE 模型和大数据分析的杭州市道路移动源主要温室气体排放清单研究[J]. 环境科学学报, 2018, 38(4): 1368-1376.
- [11] 田佩宁, 毛保华, 童瑞咏, 张皓翔, 周琪. 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/OL]. 气候变化研究进展: 1-12. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5368.P.20230210.1805.006.html>, 2023-04-10.
- [12] 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.
- [13] 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.