

城市交通业碳排放特征与减排情景分析

蓝飞, 刘秋雨, 柏松*

西南民族大学化学与环境学院, 四川 成都

收稿日期: 2023年6月10日; 录用日期: 2023年7月11日; 发布日期: 2023年7月21日

摘要

城市交通碳减排是实现“双碳”目标的重要环节, 以成都市为研究对象, 分析2021年成都市交通碳排放情况, 并对出行结构优化情况下的交通碳排放进行了预测。结果表明: 2021年成都市交通碳排放总量为469.7万吨, 其中私家车的碳排放量最高, 占85.50%; 地铁次之, 碳排放量为32.64万吨, 占6.95%; 公交系统碳排放量最少, 仅为2.30万吨, 占比0.49%。2031年公共交通出行结构比例提高到45%, 汽车出行结构减少至15%时, 碳排放量约减少101.51万吨, 减少占比约23.3%。本研究表明, 交通出行结构优化和动力能源优化是实现交通碳减排的关键措施。

关键词

碳排放, 交通产业, 碳减排路径, 出行结构

Carbon Emission Characteristics and Emission Reduction Scenario Analysis of Urban Transportation Industry

Fei Lan, Qiuyu Liu, Song Bai*

College of Chemistry & Environment, Southwest Minzu University, Chengdu Sichuan

Received: Jun. 10th, 2023; accepted: Jul. 11th, 2023; published: Jul. 21st, 2023

Abstract

Urban transportation carbon emission reduction is an important part of achieving the “dual carbon” goal, taking Chengdu as the research object, the carbon emissions of transportation in Chengdu in 2021 were analyzed, and the transportation carbon emissions under the condition of travel

*通讯作者。

structure optimization were predicted. The results show that the total carbon emissions of transportation in Chengdu in 2021 will be 4.697 million tons, of which private cars have the highest carbon emissions, accounting for 85.50%; metro followed, with carbon emissions of 326,400 tons, accounting for 6.95%; the public transport system has the lowest carbon emissions, only 23,000 tons, accounting for 0.49%. In addition, when the carbon emissions under the travel structure optimization scenario and power system optimization are calculated, the proportion of public transport travel structure will increase to 45% in 2031, and when the automobile travel structure is reduced to 15%, carbon emissions will be reduced by about 1.0151 million tons, accounting for about 23.3%. This study shows that transportation structure optimization and power energy optimization are the key measures to achieve transportation carbon emission reduction.

Keywords

Carbon Emission, Transportation Industry, Carbon Reduction Strategies, Travel Structure

Copyright © 2023 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

2020年9月,我国提出了“碳中和”和“碳达峰”的“30·60”双碳目标。在重点行业实现碳减排是实现“双碳目标”的重要前提。在我国,交通产业碳排放量占总行业碳排放量约10%,是工业、建筑行业之后的第三大碳排放源[1]。其中公路交通又占交通运输碳排放总量85%以上,是交通碳排放的绝对主体和减排重点[2]。由于交通行业碳减排潜力巨大,探索交通业碳减排的实现路径是亟待深入探索的重要课题。

“交通碳排放”主要指移动源排放,与工业和建筑业的固定源排放相比,交通碳排在测量、变化趋势和释放特点方面具有更大的不确定性。随着我国城市化进程的加快和居民出行需求的日益提高,城市交通碳排放量逐年上升,是我国目前交通运输行业碳减排的重点研究对象[3]。不合理的城市交通能源结构是城市交通低碳发展的重要制约因素[4],调整城市能源消耗结构,对降低城市交通碳排放增长速度,缩短交通碳达峰实现的时间具有重要意义[5]。

随着我国城市化进程的加快和居民出行需求的日益提高,城市交通碳排放量逐年上升,是我国目前交通运输行业碳减排的重点研究对象[2]。不合理的城市交通能源结构是城市交通低碳发展的重要制约因素[6],调整城市能源消耗结构,对降低城市交通碳排放增长速度,缩短交通碳达峰实现的时间具有重要意义[7]。

对各行业进行碳排放量的定量核算是碳中和研究的基础性问题,只有准确估算碳的排放量,才能科学提出碳减排的具体措施和目标。在城市化不断推进的当下,对于人均汽车持有量不断增加的消耗,这将会排放更多温室气体和其他对人类有害的污染物,以上问题都会妨碍城市进一步绿色发展。因此,交通无疑是碳排放的重要贡献者之一。综上,对城市交通碳排放特征进行研究,构建城市交通碳排放核算方法体系至关重要。在此背景下,加强城市交通碳排放特征和碳排放核算方法体系研究具有重要意义。为此,本研究拟以成都市交通行业为研究对象,探讨不同能源结构车型的碳排放特征,在此基础上通过情景预测法,对出行结构和能源结构优化后的情景进行定量预测,判断成都市未来交通碳排放变化趋势,

为城市的碳减排策略提供参考依据。

2. 文献综述

目前,关于碳排放核算方法体系的研究还处于探索阶段,国内外针对城市碳排放核算方法体系的研究尚不深入,并且大多集中在宏观的碳排放特征等方面。对比国内外研究发现,由于我国“双碳目标”的制定,国内学者更关注于从宏观角度对碳排放进行综合分析,尤其在各行业碳排放的核算方面开展了大量研究工作,并取得长足进展。

当前,国内外针对交通碳减排的研究主要集中在宏观的碳排放特征因子方面。2018年,李健等运用LMDI法分析了京津冀地区交通碳排放的驱动因子,得出京津冀地区的能源强度因子抑制作用的大小与城市经济发展水平呈反向关系,并对交通碳排放量具有重要影响[6]。2021年,邵丹等详细分析了小型客车电动化转型对碳排放的影响,研究提出了能源结构调整和交通结构优化并重的结构性减碳策略[7]。2022年,刘淳森等基于LSTM模型设定了“低碳、基准、高碳”三种情景,对中国2021~2050年交通运输碳排放量进行预测,并从能源消耗、政策调控、交通运输结构三方面对交通碳减排提出具体建议[8]。最近,沙爱敏等运用组合预测模型对扬州市2020~2040年的碳排放量进行了预测,提出了绿色交通发展的实施路径[9]。

总体而言,当前国内外对碳排放特征及其核算方法体系的研究,主要集中在对宏观碳排放量的估算分析方法和模型方面,由于各种因素对某一行业碳排放的影响,而基于某一城市计算其不同行业、不同领域产生的碳排放量的研究相对较少。近年来,随着共享单车、新能源汽车的普及和公共交通系统的完善所导致的居民交通结构的变化使得城市的碳排放结构以及减排策略发生改变;同时随着国家和地方政策对环境保护的重视以及对“双碳”目标制定,对于城市的碳排放体系以及其特征研究势在必行。

3. 研究方法

3.1. 交通业碳排放核算方法

交通出行包括公交、地铁、出租车、私家车、电动自行车等多种形式,针对不同的交通出行方式,本研究结合汽车行驶里程数和交通工具终端能源消耗开展碳排放的定量核算。其中公交和出租车等公共交通方式,由于无法获取具体的燃料消耗量,故将两种方法结合起来估算居民交通碳排放量。各类交通方式碳排放系数参考欧盟TREMOVE 2.4模型数值[10],详见表1。同时考虑到近年电动汽车市场的不断扩大,在讨论各种车型中电动车碳排放量时,将采用基于燃料的计算方法。其中公共汽车、出租车、电动自行车的碳排放核算计算公式为:

$$C_{t1} = \sum (D_{t1i} \times \eta_{t1i}) \times \frac{12}{44} \quad (1)$$

其中: C_{t1} 为公共汽车、出租车、电动自行车的居民交通碳排放总量; D_{t1i} 为第 i 项交通工具的年总行驶距离; η_{t1i} 为第 i 项交通工具的碳排放系数。地铁、汽车、新能源汽车的碳排放核算公式为如下:

$$C_{t2} = \sum E_{t2i} \times \eta_{t2i} \times EF_i \quad (2)$$

其中: C_{t2} 为地铁、汽车、新能源汽车的居民交通碳排放总量; E_{t2i} 为第 i 项交通工具的能源消费量; η_{t2i} 为第 i 项交通工具的碳排放系数; EF_i 为第 i 项标准量转化系数。

根据《2009中国可持续发展战略报告——探索中国特色的低碳道路》和《中国能源统计年鉴》的数据,具体值见下表2。

Table 1. Carbon emission factors of different transportation modes
表 1. 不同交通方式的碳排放系数

交通工具	碳排放系数 $\text{gCO}_2 \cdot \text{km}^{-1}$
出租车	178.6
公共汽车	73.8
电动自行车	69.6

Table 2. Standard quantity conversion factors and carbon emission factors of different energy sources
表 2. 不同能源的标准量转换系数和碳排放系数

	原煤	汽油	柴油	燃料油	天然气	电力
标准量转换系数	0.7143	1.4714	1.4571	1.4286	13.3000	1.2290
碳排放系数	0.7476	0.5532	0.5913	0.6176	0.4479	2.2132

3.2. 数据来源与数据处理

本文测算成都市交通碳排放量各项基础数据主要来源于《成都统计年鉴 2021》[11]、《四川省统计年鉴(2021)》[12]、《中国能源统计年鉴 2021》[13]、《2021 年成都市绿色交通运行特征研究报告》等。数据分析使用 WPS、MS Office 进行计算，并绘制曲线图。

4. 结果与讨论

4.1. 城市交通碳排放量测算结果

根据《成都统计年鉴 2021》等，可以获得成都市不同交通方式的数据及各类交通工具的数量。对于不同交通方式，品牌、车型、时段的乘车人数差异、道路拥堵情况等的影响，可依据年均车辆行驶总路程进行估算。对于电动汽车，采取基于燃料的计算方法，取电力消耗量为 $15 \text{ kW} \cdot \text{h}/100\text{km}$ 。同时根据不同的交通方式选用公式(2)进行计算，由此得到成都市不同交通方式的具体碳排放量，如表 3 所示。

Table 3. Carbon emissions of different transportation modes
表 3. 不同交通方式的碳排放量

交通方式	能耗 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$	能源 类型	台数 万辆	年行驶路程 万 $\text{km}/\text{辆}$	年总公里 万 km	碳排放量 万 t	碳排放总量 万 t	占比/%
地铁	12				557.84	32.64	32.64	6.95
公交		油	1.4056	6.9	757,822	1.9521	2.30	0.49
		电	0.4019			0.3476		
出租车		油	0.9989	9	171,759	4.38	5.16	1.10
		电	0.6873			0.78		
私家车		油	543	1.5	6,283,350	396.73	401.62	85.50
		电	26			4.89		
电动自行车		电	465.00	0.48	2,232,000	27.98	27.98	5.96
总计							469.7	

由表 3 可见, 2021 年成都市交通碳排放总量为 469.7 万吨, 沙爱敏等[11]分析得到 2021 年扬州市交通碳排放量为 444.6 万 t, 与本研究数据基本相当。从碳排放总量上来看, 私家车碳排放量为 401.62 万吨, 占交通碳排放总量的 85.50%, 是城市最主要的交通碳排放源。地铁碳排放量为 32.64 万吨, 占交通碳排放总量的 6.95%, 由于成都市电动自行车数量较多, 用电分散且利用率较低, 其碳排放量为 27.98 万吨, 占交通排放总量 5.96%。近年来在网约车快速发展的条件下, 对出租车的冲击较大, 出租车使用量呈减少趋势, 其碳排放总量为 5.16 万吨, 占比约 1.10%。公交车的碳排放量最小, 仅为 2.30 万吨, 占比仅 0.49%。

为了更深入了解城市交通行业碳减排的潜力, 本研究对居民使用不同交通工具出行的人均碳排放量进行了定量分析。其中将私家车和出租车的载客量简化成为总保有量乘以乘车人数(按 3 人计)进行估算, 结果见表 4。

Table 4. Per capita traffic carbon emissions of Chengdu residents in 2021
表 4. 2021 年成都居民人均交通碳排放量

交通类型	碳排放量 万 t	载客量 万人	人均碳排放 kg/人
公交	2.30	110912	0.021
地铁	32.64	179086	0.18
私家车	401.62	1707	235.28
出租车	5.16	5.06	1019.76

由表 4 可以看出, 公共交通的人均碳排放量远低于私家车和出租车。公交和地铁两种交通方式的人均碳排放量分别为 0.021 kg/人和 0.18 kg/人; 私家车的人均碳排放量高达 235.28 kg/人, 为公交的 11,203 倍, 约为地铁的 1307 倍。而出租车的人均碳排放量更是高达 1019.76 kg/人, 为公交的 48,560 倍, 约为地铁的 5665 倍。该结果表明, 大力提倡公共交通出行可以大幅度减少城市交通的碳排放。

此外, 根据表 3 结果, 出租车的碳排放量仅占各类交通总碳排放量的 1.10%, 但从表 4 中可知, 出租车的人均碳排放量约为私家车的 4 倍, 原因在于出租车的搭乘人数较少, 一般约为 1~3 人, 因而均摊到个人的碳排放量较大。不仅如此, 在打车过程中还存在无人搭乘的空程, 行驶里程较私家车大得多, 空程途中也会产生碳的排放。因此, 出租车的人均碳排放量很大。由于成都市倡导绿色出行, 地铁、公交承担着成都市较大的交通压力, 且公交数量较少, 总碳排放量较之地铁少许多, 使得公交的人均碳排放量相对较低。

4.2. 情景预测

4.2.1. 出行结构优化下的情景预测

出行结构是决定交通碳排放量的重要因素, 2021 年, 成都市人员日均出行总量约 3611 万人次/日, 公共交通(常规公交和轨道交通出行量)占日均出行总量的比约为 27.0%; 小汽车(含网约车出租)出行量占日均出行总量的比约为 21.7%; 骑行出行量占日均出行量的占比约 10%。受轨道交通线路新增影响, 2015 年~2021 年间常规公交日均客流量总量持续下降; 共享单车、电动车日均骑行总量略有上涨。上述可见, 近年来成都市出行结构不断优化, 公共交通出行比例不断扩大, 但有待进一步提高, 汽车(含网约车出租)出行比例依然较高。成都市现有公共交通运行体系难以完全满足城市发展和居民出行需求, 因此扩大公共交通运行体系很有必要。

根据相关资料, 预计 2051 年时成都市公交机动化出行分担率将达到 85%, 其中轨道交通的分担率将达

到 40%。假设 2031 年此情形实现，根据增长比率，假定到 2031 年时，公共交通出行分担率为 45%，汽车出行分担率为 15%。在此背景下，对 2031 年成都市出行结构进行优化，预测交通碳排放量。结果见表 5。

Table 5. Comparison of traffic carbon emissions under optimized travel structure in Chengdu from 2021 to 2031
表 5. 2021 年和 2031 年成都市出行结构优化下交通碳排放量对比

年份	交通类型	日出行量占比/%	人均碳排放 kg/人	碳排放量 万 t	碳排放量 万 t
2021	公共交通 (常规公交和轨道交通)	27.0%	0.18	33.74	435.36
	汽车	21.7%	235.28	401.62	
2031	公共交通 (常规公交和轨道交通)	45%	0.18	56.23	333.85
	汽车	15%	235.28	277.62	

由上表可以看出，大力提高公共交通出行占比，同时减少汽车占比以预测 2031 年公共交通与汽车交通碳排放量。结果显示，优化后 2031 年公共交通和汽车碳排放总量为 333.85 万吨，比 2021 年两者碳排放量总和 435.36 万吨减少 101.51 万吨，减少占比 23.3%。由此可见，大力提倡公共交通出行方式对于有效减少城市交通碳排放量具有显著作用。

4.2.2. 动力系统优化下的情景预测

成都市改善交通碳排放量的有效方法之一就是优化能源结构。据相关资料显示，2020~2022 年，成都市新能源汽车产业政策集中于持续提升公交、出租车等车辆中纯电动汽车比例、提高新能源汽车保有量，2025 年新能源汽车保有量力争达到 80 万辆。在公共交通领域，公交车计划于 2022 年底全部更换为新能源汽车，实现公交车电动化比例达 100%。依据上述目标值，本文设定公交、汽车皆以电力为能源，根据成都市近几年汽车保有量的增幅情况，对成都市动力系统作优化，进行城市交通动力替换。假定 2031 年前各交通类型保持一定增幅，公车每年增速为 1%，汽车每年增速为 5% 左右，新能源汽车每年增速为 0.32%，预测 2031 年时成都市公交车保有量达 1.9966 万辆，汽车保有量为 926.8 万辆，其中新能源汽车为 417 万辆。根据上述优化比例及数量预测，对比油、电占比变化前后两种情境计算碳排放量。

Table 6. Traffic carbon emissions under optimization of power system in Chengdu in 2031
表 6. 2031 年成都市动力系统优化下交通碳排放量

年份	交通类型	台数万辆	碳排放量 万 t	总碳排放量 万 t	减少百分比%
优化前 (各车型油、电占比不变)	公交 (电:油 = 0.28)	1.9966	2.5404	656.74	31.08
	汽车 (电:油 = 0.05)	926.8	654.20		
优化后 (各车型油、电占比增幅)	公交 (电 = 100%)	1.9966	1.7270	452.62	
	汽车 (电:油 = 0.45)	926.8	450.89		

由上表 6 可以看出, 依据目标设定值替换动力系统的情景下, 2031 年纯电动公交和汽车交通碳排放量均明显减少。公交碳排放量减少 0.81 万吨, 减少了 32.02%; 汽车碳排放量减少 26.25 万吨, 减少了 31.08%。两者碳排放量总计减少 204.12 万吨, 占比 31.08%。由此可见, 在替换动力系统情况下, 汽油车改为电动车对交通碳排放减少具有显著效果。

5. 结论

城市交通碳减排是实现“双碳”目标的重要环节, 本研究分析了 2021 年成都市交通碳排放情况, 并对出行结构优化后的碳排放特征进行了分析。结果表明: 2021 年成都市交通碳排放总量为 469.7 万吨, 其中碳排放量最高的是私家车, 占 85.50%; 其次是地铁, 碳排放量为 32.64 万吨, 占 6.95%; 公交车碳排放量最少, 为 2.30 万吨, 占比仅 0.49%。不同动力系统车型的碳排放量也不相同。2031 年当公共交通出行结构比例提高到 45%, 汽车出行结构减少至 15% 时, 碳排放量总体减少 101.51 万吨, 减少占比约 23.3%; 2031 年全部实现公共交通电动汽车替换, 公交碳排放量减少 0.81 万吨, 减少 32.02%。汽车碳排放量减少 26.25 万吨, 减少 31.08%, 对成都市交通碳减排具有明显效果。

基金项目

2022 年成都市软科学研究项目(2021-RK00-00255-ZF)。

参考文献

- [1] 吴俊, 蔡云鹏. “碳达峰、碳中和”目标下交通运输转型发展对策思考[J]. 交通节能与环保, 2021, 17(5): 33-36.
- [2] 赵芳敏, 蔡志洲, 彭令发. 公路碳评价指标体系初探[J]. 交通节能与环保, 2021, 17(6): 4-9.
- [3] 郭洪旭, 黄莹, 樊俊岑, 等. 城市居民出行节能减排措施的 CO₂ 减排成效研究[J]. 环境保护, 2021, 49(2): 60-66.
- [4] 刘爽, 赵明亮, 包姘娜, 等. 基于交通结构发展情景分析的城市交通碳排放测算研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(3): 222-227.
- [5] 张昱, 刘学敏, 徐丽萍, 等. 北京市城市交通能源转型对策研究[J]. 中国人口资源与环境, 2019, 29(2): 152-159.
- [6] 李健, 景美婷, 苑清敏. 绿色发展下区域交通碳排放测算及驱动因子研究——以京津冀为例[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(7): 36-42.
- [7] 邵丹, 李涵. 城市客运交通电动化碳减排效益和碳达峰目标——以上海市为例[J]. 城市交通, 2021, 19(5): 53-58.
- [8] 刘淳森, 曲建升, 葛钰洁, 等. 基于 LSTM 模型的中国交通运输业碳排放预测[J]. 中国环境科学, 53(5): 2574-2582.
- [9] 沙爱敏, 陈婷, 吕凡任, 等. 基于组合预测模型的交通碳排放量预测研究[J]. 节能, 2023, 42(1): 72-75.
- [10] 张纯, 程云鹤, 姜乐平. 工业细分行业碳排放驱动因素分析——基于安徽省面板数据[J]. 石家庄铁道大学学报(社会科学版), 2021, 15(3): 32-39.
- [11] 成都市统计局. 成都统计年鉴(2021) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [12] 四川省统计局. 四川省统计年鉴(2021) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [13] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.