

“双碳”目标下城市交通减排路径研究^{*}

潘自翔¹, 李薇², 肖娇妍²

(1. 湖南医药学院, 湖南 怀化 418000; 2. 长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 作为实现碳达峰、碳中和的关键领域, 交通运输行业节能减排刻不容缓, 其中城市交通碳排放总量较高, 城市交通场景具备 2030 年碳达峰调控可能性, 为推动交通运输领域“双碳”目标的实现, 须分析城市交通的减排策略与路径。文中通过对中国城市交通领域减排思路的分析, 得出城市交通碳排放总量的主要影响因素; 从量的控制、量的优化、质的转变着手构建城市交通减排策略框架, 提出城市交通领域“双碳”目标的 3 条实现路径, 包括优化空间结构、优化出行结构、优化能源结构, 并提出每条减排实现路径的具体实施措施; 最后从绿色低碳角度对城市交通类规划给出规划指标指引。

关键词: 城市交通; 减排路径; “双碳”目标; 出行结构; 车辆能源结构

中图分类号: U491.92

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)05-0024-05

“双碳”目标是中国为应对全球气候问题向世界许下的承诺, 碳达峰与碳中和的目的都是限制碳排放。城市交通作为交通运输领域的主要 CO₂ 排放源之一, 具备 2030 年碳达峰调控可能性, 如何在满足城市居民出行需求的同时满足“双碳”目标对城市交通减排的要求是亟待解决的问题。

国外学者较早开始研究城市交通减排策略, 研究方法集中于计算机仿真、实证分析和计量经济学模型, Parry I. W. H. 等运用福利经济理论研究了公共交通补贴对城市交通减排的有效性^[1]; Jochem P. 等构建交通减排政策的多智能体(包括家庭、运输企业和货主等)仿真模型, 以德国为例评估了不同交通政策的减排效果^[2]; Pooja S. 等从社会、经济和环境角度对城市交通减排进行分析, 提出了大力发展公共交通、减少高能耗车辆使用等城市交通可持续发展策略^[3]; Hickman R. 等建立城市交通碳排放仿真模型, 模拟采用低排放车辆、定价制度、公共交通等政策的效用, 指出要实现 CO₂ 减排目标需要在广泛的政策机制中采取更有效的措施^[4]。国内学者对控制城市客运领域能源消耗和 CO₂ 排放也进行了较多研究, 胡晓伟等将城市交通能耗与排放系统划分为人口、经济、私家车、公共交通、物流与货运、交通基础设施、能源消耗与排放 7 个子系统, 利用系统动力学原理构建城市交通减排治理决策模型, 并以哈尔滨市为例进行了策略仿真^[5]; 朱长征等测算了

2000—2019 年中国交通运输业碳排放水平, 并分析了碳排放的主要影响因素, 建立了拓展的 STRIPAT 模型^[6]; 韩博等建立符合中国民航特征的大气污染物与 CO₂ 排放综合预测模型, 对 2019—2050 年民航 CO₂、NO_x 排放量进行分析, 并对其减排协同效益进行了评价^[7]; 胡荣等运用改进的 ICAO 方法测算了 2019 年机场航空器碳排放量, 采用情景分析与蒙特卡洛模拟方法预测了厦门机场航空器碳排放达峰可能性与影响因素^[8]。也有学者对交通领域 CO₂ 排放的影响因素进行了分析^[9-15], 并对交通能源消耗与碳排放进行了测算^[16-22]。现有文献鲜有以城市交通场景为研究对象, 缺乏对城市交通减排的策略框架研究, 对影响中国城市交通碳排放总量的主要影响因素尚不完全清晰, 对城市交通减排路径的实现缺乏深入分析。本文研究城市交通的减排策略和路径, 助推“双碳”目标的落地与实现, 发掘高效的的城市交通减排机会, 提高城市交通减排的针对性。

1 城市交通领域减排思路分析

“双碳”目标要求交通行业大力减排, 并推动城市客运发展向低碳出行模式转变。交通运输领域存在多个分场景, 目前航空和海运场景与区域交通场景 2030 年碳达峰面临不确定性, 实现难度较大。而城市交通场景具备 2030 年碳达峰调控可能性, 主要

^{*} 基金项目: 怀化市哲学社会科学成果评审委员会课题(HSP2022YB58)

表现在:公交车、出租车发展规模基本稳定,绿色出行体系逐步建立;交通需求管理(TDM)政策成效显著;轨道交通、公交车、巡游出租车行业将能实现“零排放”。

2019 年中国碳排放量为 101.7 亿 t,其中交通运输、仓储、邮政行业碳排放量约占 9.01%。城市交通领域碳排放总量较高,占城市碳排放总量的 20%~60%。城市交通涉及公交车、出租车、私家车等多个细分场景,其中私家车和巡游出租车的碳排放量最高。

中国城市正在加剧扩张,汽车保有量持续增长,城市出行空间范围逐渐扩大,居民平均出行距离越来越长,同时居民更倾向于选择小汽车出行,部分城市公共交通出行比例小,导致城市出行结构逐渐失衡。汽车的碳排放量比集约交通工具的碳排放量高,且其碳排放量随着出行者出行距离的增大而增大,加剧了碳排放的增长。影响城市交通碳排放总量的主要因素为城市居民出行距离、交通出行结构、交通工具的能源结构。

2 城市交通领域减排策略框架

根据城市交通减排思路,从“量”和“质”两方面入手构建城市交通领域减排策略框架,归纳为量的控制、量的优化、质的转变(见图 1)。

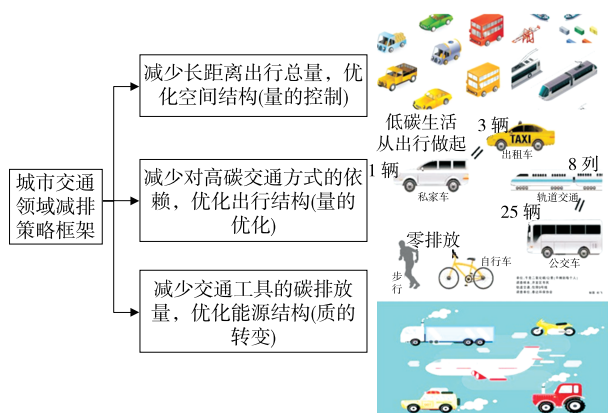


图 1 城市交通领域减排策略框架

3 城市交通领域“双碳”目标实现路径

3.1 实现路径一:优化空间结构

通勤交通是城市居民生活的重要组成部分,目前中国诸多城市出现市内超远距离通勤现象,解决城市通勤问题的根本办法是职住平衡。根据《2021 年度中国主要城市通勤监测报告》,居民通勤出行距

离随着城市空间结构的扩张越来越长(见图 2、图 3)。图 2 也显示了中国各城市的万人单程通勤交通碳排放量,反映了部分大城市职住空间对碳排放的影响。从图 2 可看出:超大型城市的职住分离度为 4.2 km,万人单程通勤交通碳排放量为 7.0 t;特大城市的职住分离度为 3.9 km,万人单程通勤交通碳排放量为 5.7 t;I 型大城市的职住分离度为 3.3 km,万人单程通勤交通碳排放量为 5.4 t;II 型大城市的职住分离度为 3.6 km,万人单程通勤交通碳排放量为 4.6 t。通勤出行总量固定存在使长距离出行总量越来越大,须从上位规划(城市群发展战略规划、城市国土空间总体规划等)的角度优化空间结构、集约城市建设用地、均衡功能布局,从而减少城市长距离通勤出行总量,降低碳排放量。

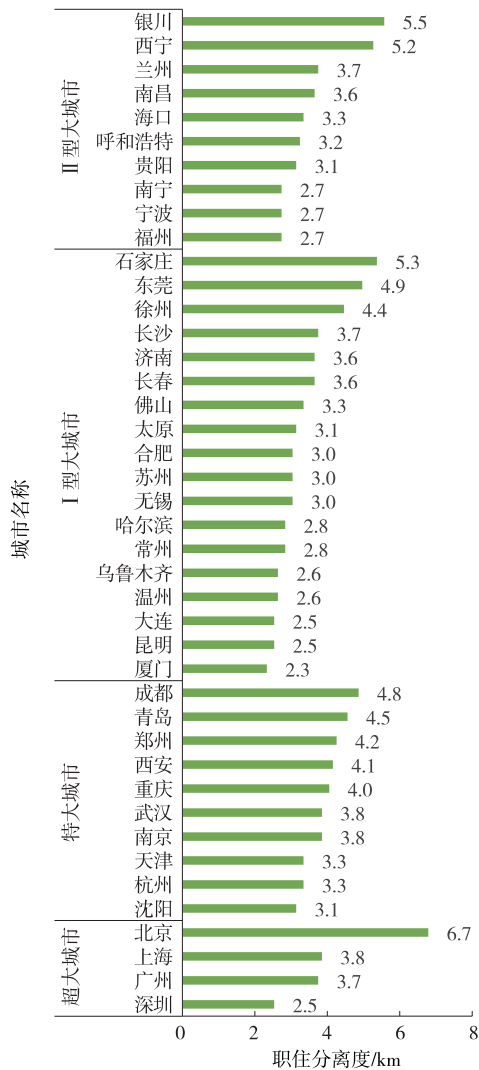


图 2 2020 年中国主要城市的职住分离度

职住平衡是指在一定地域范围内职工数量与住户数量保持平衡状态,大部分居民可就近工作,大致

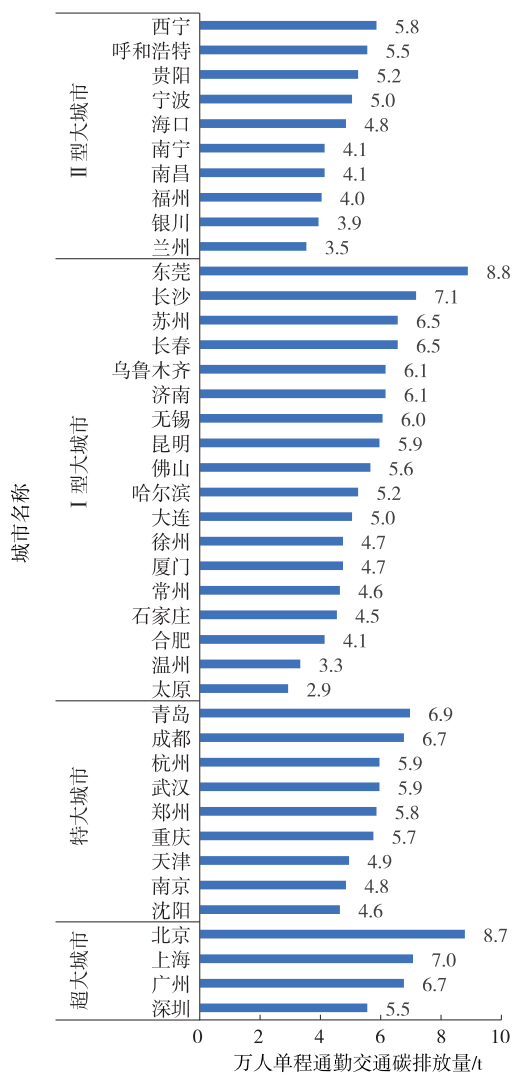


图3 2020年中国主要城市的万人通勤交通碳排放

实现居住与就业的平衡。职住平衡的3个层次见图4。

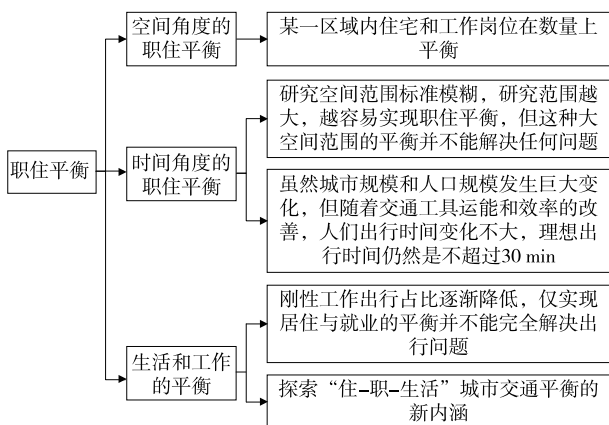


图4 职住平衡的3个层次

采用数量的测量方法对职住平衡度进行测量，推测某地区职住平衡度大小。职住平衡度在数量上

的平衡是指在给定地域范围内就业岗位数量和居住单元数量相等，即每个家庭只有一个人工作，如果存在双职工家庭，就要根据其数量进行修正。就业一居住比例 λ 为在给定区域范围内就业岗位数量与家庭数量之比，若 λ 值为0.8~1.2，则该地域职住是平衡的。

综上，城市交通减排实现的第一条路径是优化空间结构，减少长距离出行总量。措施包括集约城市建设用地、均衡区域功能布局、实施TOD(以公共交通为导向的开发)模式、大力推行未来社区。

3.2 实现路径二：优化出行结构

交通出行结构是城市交通系统中不同交通方式所承载的出行量的比例。目前部分城市小汽车保有量过大，城市低碳交通方式占比较小。城市内其他出行方式单位客运周转量碳排放相对于小汽车的减排率见表1，不同出行方式的单位人公里碳排放量见图5。从表1、图5来看，低碳交通方式对减少城市碳排放具有重大推动作用。须优化出行结构，推动居民出行由高碳的小汽车向低碳的公共交通甚至零碳的慢行交通转移。

表1 不同出行方式单位客运周转量的碳排放相对于小汽车的减排率

出行方式	减排率/%	出行方式	减排率/%
轨道交通	-73	出租车	+70
常规公交	-60	慢行交通	-100

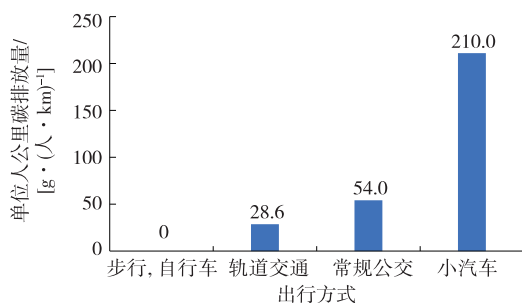


图5 不同出行方式的单位人公里碳排放量

出行距离是影响居民选择交通方式的重要因素，对于不同出行距离的居民可采取TDM、TSM(交通系统管理)等手段进行精细化差别引导，在满足城市居民出行需求的同时，促使城市交通减排。不同出行距离下各出行方式的精细化差别引导见图6。

综上，实现城市交通减排的第二条路径是优化出行结构，减少对高碳出行方式的依赖。措施包括

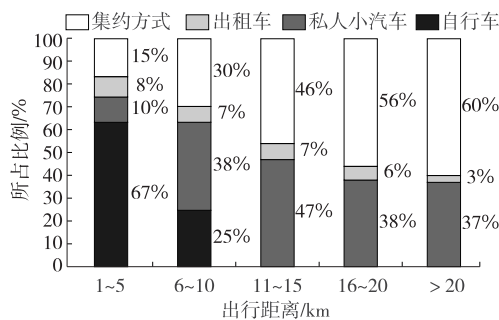


图 6 不同出行距离下各出行方式的精细化差别引导

鼓励绿色低碳出行、出行方式精细化差别引导。

3.3 实现路径三:优化能源结构

机动车能源结构转型是促进城市交通减排的核心,也是最具潜力的策略。要实现 2030 年碳达峰,首先依靠能源体系的去碳化,而能源体系的去碳化依靠新能源汽车的储能,用新能源汽车带动新能源革命。

为促进新能源汽车的发展,2020 年 11 月 2 日,国务院办公厅印发国办发〔2020〕39 号《新能源汽车产业发展规划(2021—2035 年)》,要求到 2025 年新能源汽车新车销售量达到新车销售总量的 20% 左右,2035 年纯电动汽车成为新车销售的主流。

作为新能源汽车的代表,纯电动汽车是现代汽车技术、新能源、电子计算机智能控制等高新技术的集成产物,它在运行使用过程中不产生 CO₂,具有环保无污染、高效能、运行成本低的优点。纯电动汽车的出现及普及不仅能使汽车产业摆脱过度依赖石

油的局面,同时可降低 CO₂排放量,减排效果显著。

目前各城市电网容量与能源补给基础设施仅能保障一定量级的新能源汽车能源补给需求,为满足用户使用需求,推动新能源汽车从小规模应用到大规模应用转变,应重视能源补给设施的规划与建设,提升各城市电能供给和电网容量,加强充电设施建设。

综上,实现城市交通减排的第三条路径是优化能源结构,减少交通工具的碳排放量。措施包括车辆全面电动化、能源补给设施配套。

4 “双碳”目标下交通类规划指标指引

《国家综合立体交通网规划纲要》明确了国家综合立体交通网将是国家交通基础设施最高层次的空间网络,是综合交通运输体系的基础。在这种背景下,各城市都在抓紧制定城市综合交通规划、公共交通专项规划、行人与非机动车专项规划、停车系统规划、货运交通规划、5 年交通发展规划、交通设施选址(选线)专项规划、绿色交通发展规划等交通类规划,以建立满足城市现代化目标的交通体系。

根据上述城市交通减排路径,在制定城市(城镇)交通类规划时应基于区域特点、规划内容等将出行方式分担比例、公共交通出行比例、单位人公里 CO₂排放量、出行时耗分布、新能源车比例等指标作为重要规划指标,以贯彻绿色低碳发展目标。部分交通类规划指标指引见表 2。

表 2 “双碳”目标下部分城市交通类规划指标指引

规划项目	规划中的指标	建议指标值
城市综合交通规划	就业—居住比例	0.8~1.2
	居民通勤出行(单程)平均出行距离/km	5~9
	单位人公里 CO ₂ 排放量/[g·(人·km) ⁻¹]	40~50
	采用集约型公交 95% 的通勤出行时间最大值/min	35~60
	各类非机动车道网络密度/(km·km ⁻²)	8~14
公共交通专项规划	城市道路路段绿化覆盖率要求/%	10~20
	绿色公共交通工具比例/%	100
	公交车辆中电动车比例/%	100
	双向六车道以上主次干道中公交专用道比例/%	>60
	公共交通出行分担率/%	28~40
城乡客运一体化发展规划	万人拥有公共汽车数量/(标台·万人 ⁻¹)	14~20
	新能源车比例/%	100
	公交车中新能源车比例/%	100

为将表2中建议规划指标落实到位,可引入城市交通碳排放评价,建立城市低碳交通评价指标体系,精确掌握城市交通减排效果,促进城市交通减排。

5 结语

“双碳”目标下,通过一些针对性强的政策和措施促进城市交通领域减排迫在眉睫。虽然各城市的交通特点不同,但城市内部的职住平衡、出行结构、车辆能源结构仍然是实现城市交通减排的关键,各城市应探索适合区域特点的多模式客运低排放的交通组成,多方面、全方位、全周期地调控城市交通碳排放量,促进城市交通绿色低碳发展。下一步将研究城市低碳交通评价指标体系,以更好地评价城市交通减排效果。

参考文献:

- [1] PARRY I W H, SMALL K A. Should urban transit subsidies be reduced? [J]. American Economic Review, 2009, 99(3): 700—724.
- [2] JOCHEM P. Multiagent simulation in transport: Assessing impacts of policy instruments to reduce CO₂ emissions in Germany[C]//11th World Conference on Transport Research, 2007.
- [3] POOJA S, CHANI P S, PARIDA M. Sustainable transport strategies: An approach towards low carbon cities[J]. Journal of Environmental Research and Development, 2013, 7(4): 1450—1458.
- [4] HICKMAN R, ASHIRU O, BANISTER D. Transport and climate change: Simulating the options for carbon reduction in London[J]. Transport Policy, 2010, 17(2): 110—125.
- [5] 胡晓伟, 包家烁, 安实, 等. 碳达峰下城市交通运输减排治理策略研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(6): 244—256.
- [6] 朱长征, 杨莎, 刘鹏博, 等. 中国交通运输业碳达峰时间预测研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2022, 22(6): 291—299.
- [7] 韩博, 邓志强, 于敬磊, 等. 碳达峰目标下中国民航 CO₂ 与 NO_x 减排协同效益分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2022, 22(4): 53—62.
- [8] 胡荣, 王德芸, 冯慧琳, 等. 碳达峰视角下的机场航空器碳排放预测[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(6): 257—263.
- [9] LIU Z, LI L, ZHANG Y J. Investigating the CO₂ emission differences among China's transport sectors and their influencing factors[J]. Natural Hazards, 2015, 77(2): 1323—1343.
- [10] XU B, LIN B Q. Differences in regional emissions in China's transport sector: Determinants and reduction strategies[J]. Energy, 2016, 95: 459—470.
- [11] YI W J, YAN J. Energy consumption and emission influences from shared mobility in China: A national level annual data analysis[J]. Applied Energy, 2020, 277(6): 115549.
- [12] 苏涛永, 张建慧, 李金良, 等. 城市交通碳排放影响因素实证研究: 来自京津沪渝面板数据的证据[J]. 工业工程与管理, 2011, 16(5): 134—138.
- [13] 柳伍生, 肖必弘. 基于模糊机会约束规划和鲁棒优化的绿色多式联运路径优化研究[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2022, 19(1): 96—104.
- [14] 卢升荣, 蒋惠园, 刘瑶. 交通运输业 CO₂ 排放区域差异及影响因素[J]. 交通运输系统工程与信息, 2017, 17(1): 32—39.
- [15] 卢建锋, 傅惠, 王小霞. 区域交通运输业碳排放效率影响因素研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2016, 16(2): 25—30.
- [16] 聂华伟. 贵州省道路客运交通运输碳排放清单研究[J]. 交通节能与环保, 2019, 15(4): 40—43.
- [17] 杨加猛, 万文娟. 省域交通运输业碳排放核算及其减排情景分析[J]. 公路, 2017, 62(11): 155—159.
- [18] 宋丹丹. 基于居民出行的低碳交通结构优化研究[J]. 公路与汽运, 2022(4): 26—28.
- [19] 张聪, 贾凤娇. 基于居民出行的城市交通碳排放特征及节能减排策略[J]. 交通与运输, 2020(3): 76—79.
- [20] 卞利花, 吉敏全. 青海交通碳排放影响因素及预测研究[J]. 生态经济, 2019, 35(2): 35—39+100.
- [21] ZHANG L L, LONG R Y, CHEN H, et al. A review of China's road traffic carbon emissions[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 207: 569—581.
- [22] ALEXANDRE M, LAURA M, LYNETTE C, et al. Greenhouse gas emission mitigation pathways for urban passenger land transport under ambitious climate targets[J]. Environmental Science & Technology, 2021, 55(12): 8236—8246.

收稿日期: 2022-09-28