

特色专题

共享化、电动化、智能化应用对城市交通减排的贡献及政策协同

王雪成, 龙雨璇*, 张毅, 王宝春

摘要 共享化、智能化等交通新业态将深刻影响未来城市出行模式,是城市客运减排的重要方向。采用 T3E-SAM 模型,设置了“双碳”目标情景和技术变革情景,预测了未来城市客运的需求,量化了共享化、电动化、智能化交通的减排效果。结果显示,中国城市客运量将持续增加,2024—2040 年年均增长率可达 2.7%,到 2040 年后增长率会呈现下降趋势,2041—2060 年年均下降率为 0.4%。在“双碳”目标情景下,城市客运碳排放将在 2027 年达峰,2060 年私家车将是唯一的碳排放源。在技术变革情景下,城市客运碳排放有望在 2025 年达峰,并于 2057 年达到零碳排放。共享化、电动化、智能化技术的普及应用将促进城市交通零排放目标的实现,并减少私家车数量,显著提高城市交通运行效率。基于模型的结果,提出一系列政策协同发展建议:“技术赋能,加快智能化车辆应用;理念赋能,推动“使用而非拥有”等共享理念的普及;管理赋能,支撑共享化、智能化出行落地”。

关键词 共享化城市交通;交通减排;政策协同;减排潜力;城市客运

实现“碳达峰碳中和”目标已经成为中国应对气候变化的战略。交通部门作为中国主要的碳排放部门之一,其碳排放总量持续上升,2005—2021 年年均增速达 3.6%,同时,占比呈现上升趋势,从 2005 年 6.4% 上升为 2021 年的 10.7%^[1],未来交通部门将面临较大的减排压力。城市是居民活动的密集区域,中国私家车数量从 2005 年的 1383 万辆,增长到 2023 年的 2.71 亿辆,增长了近 19 倍,使中国城市交通碳排放成为交通部门中重要的碳排放源。考虑到中国未来城镇化率还将进一步提升^[2],城市规模还将扩大,城市交通总需求量将继续上升,并对时效性、舒适性等出行服务品质要求越来越高,城市交通碳排放总量控制难

度日益增加^[3]。此外,城市在工业、建筑等部门减排空间日益缩减,交通部门碳减排成为城市的主要减排部门^[4-5]。

城市交通低碳发展一直是学术热点问题,研究主要集中在城市交通碳排放核算和未来趋势预测^[6-8]、城市交通碳排放影响因素识别^[9]以及典型城市减排路径设计^[10-11]等方面。首先,研究人员构建核算模型对城市交通碳排放量进行核算,并基于不同情景预测了未来交通碳排放趋势。其中,自上而下模型能够较好反映城市经济等宏观因素与交通需求的影响^[12],通过构建包括社会经济、交通供需和城市的人口规模、经济发展情况、交通基础设施完备情况、新能源车辆应用情况等主要驱动因子的系统动力学模型,能够核算城市交通能耗和碳排放量的变化趋势。自下而上能源

交通运输部科学研究院,北京 100029

收稿日期:2023-07-20;修回日期:2025-01-27

基金项目:能源基金会项目(G-2409-35866);世界银行项目(7200161);中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(2024-1Y01005)

作者简介:王雪成,助理研究员,研究方向为绿色交通量化分析,电子信箱:wangxuecheng027@163.com;龙雨璇(通信作者),助理研究员,研究方向为交通战略政策,电子信箱:18071928111@163.com

引用格式:王雪成,龙雨璇,张毅,等.共享化、电动化、智能化应用对城市交通减排的贡献及政策协同[J].科技导报,2025,43(8):45-54;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2023.07.01112

系统模型能够更好反映交通运输行业自身减排措施带来的减排效果,刘俊伶等^[13]构建了该类模型,对提高车辆能效、推广新能源车和鼓励绿色出行3类典型城市交通低碳措施的减排潜力进行了核算和预测。其次,绿色出行是城市交通碳排放最主要的影响因素,一项针对天津市811名城市居民的调研发现,城市公共交通的完善度直接影响居民的出行选择^[14]。同时,当城市人口密度较高,城市交通基础设施完善、有充足的步行道和自行车道时,城市绿色出行比例较高^[15]。第三,中国城市各具特点,需要因地制宜地制定低碳交通发展对策。对于一线城市,由于其超大的人口规模、相对较多的财政预算及创新能力,能够通过优化公共交通供给、加快推广新能源车、提高治理水平,推动城市交通碳达峰^[16]。对于二三线城市,仍处于城市发展阶段,需结合城市发展特征、资源禀赋和优势产业,发展具备比较优势的能源结构、打造智慧交通系统、优化城市空间结构等实现城市交通的“双碳”目标^[17]。

随着城市交通排放对气候变化的影响日益增大,越来越多的研究聚焦于共享化、电动化、智能化出行在城市交通减排中的贡献。共享化出行通过乘坐公共交通、共享单车和拼车等方式减少私人乘用车的使用频率和拥有量,进而降低交通总量和碳排放^[18]。电动化的减排效果更为显著,通过替代传统燃料车辆,直接减少能耗和碳排放^[19-20]。智能化的应用通过利用大数据、人工智能和物联网技术实现自动驾驶,提高车辆运行效率和道路使用率,减少车辆空载率和行驶距离,降低交通拥堵和碳排放^[21]。

综上,现阶段研究人员对城市交通的碳排放核算、预测、影响因素、城市低碳发展路径等问题,以及共享化、电动化、智能化的减排原理开展了深入的研究。但主要集中在单一技术或模式的减排潜力评估,缺乏对多模式融合及政策协同的系统性研究。然而,随着科技的发展,网约车平台等共享化技术、自动驾驶等信息技术以及纯电动车辆等新能源技术的应用已经成为推动城市出行方式变革的核心动力。为更好地探索城市交通低碳转型发展的路径,量化分析城市交通“共享化、电动化、智能化”发展趋势带来的减排潜力成为现阶段研究迫切的需求。本文通过分析中国共享化、电动化、智能化交通对城市出行的影响,构建城市交通碳排放预测模型,量化了不同情景

下的减排效果,提出中国城市共享化、电动化、智能化交通发展的协同政策建议,为未来城市交通低碳智能化发展提供科学的参照。

1 现状分析

1.1 城市出行以共享出行为主,传统共享出行模式占比降低

广义的共享出行是指多个居民共同使用交通运输工具完成出行,包括传统共享出行模式,如公共交通、巡游出租车;新兴的共享出行模式,如合乘、分时租赁、共享单车、网络预约出租车(简称“网约车”)等。

城市出行以共享出行为主,但不同共享模式呈现不同发展趋势。2014年之前公共交通是城市出行最主要的方式,但受到轨道交通、票价改革和共享单车普及的影响,出行量在2014年达到峰值后持续下降。轨道交通随着基础设施的建设,出行量持续上升,但考虑到中国仅有限城市具备建设轨道交通的条件,其客运量将持续增长但存在上限。巡游出租车受到网约车的冲击以及牌照限制,自2014年其客运量持续下降。网约车能够借助互联网技术实现高效率的时空匹配,其数量、服务人数持续增长,成为第3大4城市客运出行方式,2024年出行量较2015年增长了16.5倍,如图1所示。

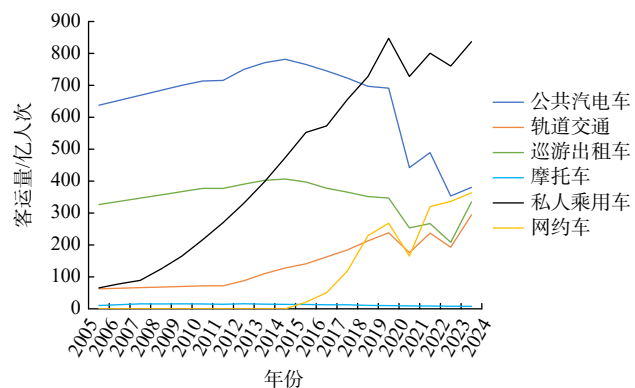


图1 中国城市交通不同模式出行量

1.2 电动化车辆普及速度不断加快

国家实施“双碳”战略以来,推动交通动力低碳替代已成为城市出行领域主要减碳手段。中国拥有目前世界上最大的电动汽车市场,城市交通是新能源汽车推广的先驱者。2024年新能源营运车辆保有量是2020年的8倍,其渗透率(新能源乘用车新车销售占

所有乘用车销售的比例)已经从 2016 年的 0.6%, 快速增长到 2024 年的 51.1%。

1.3 智能化是未来交通发展的主要方向

国内已开展众多自动驾驶的研究及试点应用。虽然当前自动驾驶技术在安全性、整车制造成本及传感器感知系统等关键技术上还有突破空间,但自动驾驶出租车逐步取代人工驾驶将成为重要趋势,武汉的试点中无人驾驶网约车队规模已达到 1000 辆并实现商业化运营。2020 年国务院发布的《新能源产业发展规划(2021—2035 年)》指出预计 2025 年高度自动驾驶汽车实现限定区域和特定场景商业化应用,2035 年高度自动驾驶汽车实现规模化应用。

2 研究方法

2.1 影响因素分析

本研究中共享化对城市交通碳排放的影响,主要体现在公共交通、巡游出租车、网约车等模式不同发展路径的影响。考虑到公共交通、巡游出租车的客运量将持续下降,网约车将成为未来主要的城市出行方

式,网约车的模式也将进一步拓展,包括私家车的拼车(carpooling)和共乘(ridesharing)类型的共享,该模式下能够显著增加车辆载客量,提高车辆的空间利用率和通行效率,直接降低了车辆总保有量,进而影响城市交通的碳排放。

电动化的普及加快了城市交通能源结构的优化。电动化车辆减排效果显著,由于中国电力清洁化比例为 34.5%,即使考虑电动化车辆使用电力而产生的间接排放量,电动车相较于传统燃油车的减排效果能达到 50% 以上^[22]。

智能化的因素影响主要体现在 3 个方面:一是通过应用自动驾驶、车联网等技术,由于更加精细的控制能够减少单车能耗 45% 左右^[23]。二是当自动驾驶、车联网等技术渗透率达到一定程度后,能够实现城市级别的智能控制与调度、路径规划等功能,能够提高城市交通通行能力的 99.5%^[24]。三是为实现车路协同需要安装智能信号系统、感知系统等硬件,车辆将搭载更多的电子设备,从而进一步增加城市交通能耗 30% 左右^[21]。共享化、电动化、智能化对城市交通出行和碳排放的影响如图 2 所示。

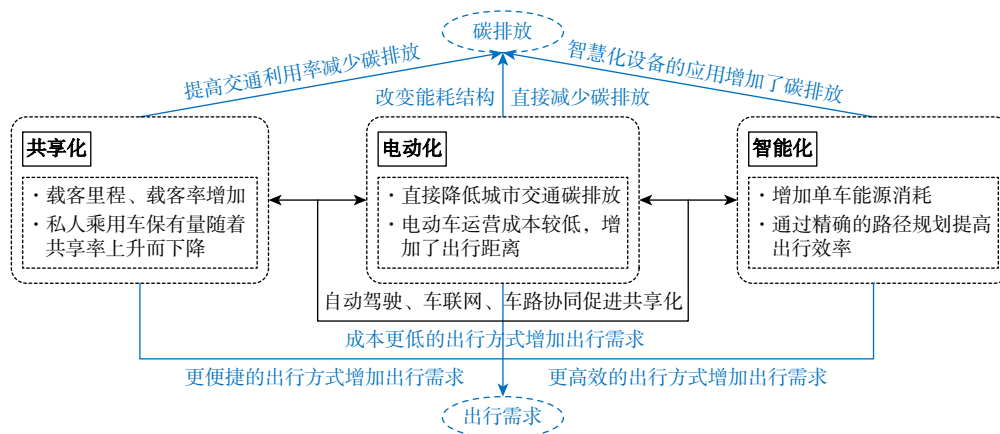


图2 共享化、电动化、智能化对城市交通出行需求和碳排放的影响

2.2 量化模型构建

为量化分析中国交通部门碳排放发展趋势,量化不同交通运输政策、技术应用的减排效果,构建了中国交通运输与经济、能源、环境仿真分析模型(T3E-SAM),模型具体框架、细节见 Wang 等^[18]研究。

本文主要介绍城市客运需求预测模型,共享化、智能化对城市出行的影响模型。

1) 城市客运需求模型。

城市客运需求通常由多元回归模型进行预测,其中,人均出行次数受到人均 GDP、人口总量和不同年龄人口分布、网上购物支出占总支出的比例和城镇化率等因素的影响,模型构建如下:

$$y = \frac{K}{1 + ae^{-a_1 x_1} + be^{-b_1 x_2} + ce^{-c_1 x_3} + de^{-d_1 x_4}} \quad (1)$$

式中, y 为人均出行次数,次; x_1 为人均 GDP, 元; x_2 为 15~64 岁人口比例, %; x_3 为网上购物支出占总支出的

比例, %; x_4 为城镇化率, %; $K, a, a_1, b, b_1, c, c_1, d, d_1$ 为各类参数。

2) 共享化、智能化影响模型。

该模型用于城市交通中共享化、智能化车辆应用对城市能源碳排放的影响进行分析。

$$FC_{i,m} = \sum_k \sum_{1 \leq j \leq i} NR_{i,j,k} \cdot SR_{i,j,k} \cdot IR_{i,j,k} \cdot FCN_{i,j,k} \cdot MIL_{i,j,k} \cdot (1 + MR_i) \tag{2}$$

式中, $FC_{i,m}$ 为第 i 年 m 型动力系统车辆的燃料消耗量; $NR_{i,j,k}$ 为第 j 年 k 类汽车新增注册量; $SR_{i,j,k}$ 为第 j 年新注册的 k 类车辆的存活比例; $IR_{i,j,k}$ 为第 j 年 k 等级车智能车辆新增注册量在 j 年汽车新增注册量中所占的比例; $FCN_{i,j,k}$ 为第 j 年 k 类车辆的能耗强度, $MIL_{i,j,k}$ 为第 j 年份新注册 k 类汽车在 i 年的行驶里程; MR_i 为 i 年智能车辆增加的行驶里程比例, 对于非智能化车辆, 这项指标为 0。

$$GE_i = \sum_m EF_{i,m} \cdot FC_{i,m} \tag{3}$$

式中, GE_i 为第 i 年份的车队能耗; $EF_{i,m}$ 为第 i 年份 m 型动力系统汽车燃料全生命周期能耗因子,

$$GC_i = \sum_m CF_{i,m} \cdot FC_{i,m} \tag{4}$$

式中, GC_i 为第 i 年份的车队碳排放量; $FC_{i,m}$ 为第 i 年份 m 型动力系统汽车燃料碳排放因子。

考虑到本研究主要采用多元回归模型(自上而下模型)对运输量进行预测, 该模型通过深入分析经济系统与运输需求的关联, 能够相对准确地描述未来城市客运需求与宏观经济发展的趋势, 但由于未来经济技术发展的参数难以确定, 模型预测结果存在一定的局限性。共享化、智能化影响模型(自下而上模型)对城市碳排放影响进行分析, 该模型能够深入细致地描述碳排放系统内各种技术未来的发展趋势, 能够对城

市交通碳排放进行详细的量化分析, 但由于模型所需参数过多, 核算存在一定不确定性。

2.3 参数设置

本研究设置“双碳”目标情景及技术变革情景。结合中国碳达峰碳中和要求和共享化、电动化、智能化等因素的发展趋势, 确定情景参数。

“双碳”目标情景: 考虑国家近期密集出台的“双碳”政策, 包括《2030 年前碳达峰行动方案》(国发〔2021〕23 号)、《交通运输领域绿色低碳转型行动方案》(2022 年 3 月)、《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》(2024 年 7 月), 量化相关政策措施, 并作推演, 获取新能源车推广、绿色出行比例提升等与城市交通出行相关指标。

技术变革情景: 增强共享化、智能化发展的政策支撑力度, 加快共享化出行的比例、新能源车辆的普及、智能化交通技术的应用。

1) 宏观因素。

宏观因素如 GDP、人口、城镇化人口等影响未来城市客运需求。其中, GDP(人均 GDP)的增长能够反映在国民基本需求的增长, 人民生活水平提高的同时对交通的需求逐渐加大, 使城市交通需求迅速增长。人口数量会对交通运输服务需求总量及其结构产生重要影响, 随着中国人口老龄化的加速, 未来城市出行需求将会出现结构性变化; 城镇化过程中的人口迁移、人口规模、人均出行次数等, 是城市客运的关键影响因素, 研究表明, 城镇居民消费水平是农民平均消费水平的约 3.5 倍。

宏观参数主要参照《中华人民共和国国民经济和社会发展的第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》及世界银行 CGE 小组等国内外团队研究成果, 整理得到表 1。

表 1 宏观参数设定

年份	人均GDP/元	城镇化率/%	网上购物支出占总支出的比例/%	人口/亿人	65岁以上人口比例/%	人均可支配收入/元
2025	89725	64.3	30.0	14.10	15.0	43173
2030	109164	68.7	35.3	14.06	18.9	54215
2035	129653	72.0	40.6	14.01	22.3	65703
2040	150303	75.0	45.1	13.67	25.1	79412
2045	166761	76.0	47.3	12.43	26.5	90211
2050	183219	77.0	49.5	11.19	27.9	101009
2055	197926	78.0	51.0	10.23	29.7	112636
2060	212633	79.0	52.5	9.27	31.5	124262

2) 共享化、电动化、智能化因素变化。

车辆共享化主要是指以分散的闲置资源(非车主使用期间)私家车为基础,以提升汽车利用率的方式。本研究中,私家车的共享化主要是车主是否拥有车辆,将车辆作为共享化车辆的比例。

电动化主要关注城市乘用车电动化情况,包括私人乘用车、巡游出租车、网约车。

智能化汽车涵盖范围较广,主要包括:智能交互、智能驾驶和智能服务等方面的要素内容,本研究仅关注自动化驾驶汽车在城市交通的应用情况。不同级别的自动驾驶主要体现在司机在车辆行驶过程中的参与程度,主要关注自动驾驶对通行效率的提升,以及居民使用车辆的行为习惯。

具体参数设置如表 2 所示。

表 2 未来共享化、电动化、智能化参数设置

年份	情景设置	共享化	电动化	智能化
2030	“双碳”目标情景	以出租车平台形式为主	网约车: 保有量50%以上, 新入市场100%	网约车: 体现在效率提升, 需求预测更准确, 供给需求匹配更高, 调度更快捷
			私家车: 保有量20%, 渗透率60%	私家车: 体现在线路优化, 辅助驾驶
	技术变革情景	以出租车平台形式为主, 车辆类型多样, 满足不同类型的出行需求	网约车: 保有量90%以上, 新入市场100%	网约车: 体现在效率提升, 需求预测更准确, 供给需求匹配更高, 调度更快捷, 普及率高
			私家车: 保有量40%, 渗透率80%	私家车: 体现在线路优化, 辅助驾驶普及率更高
2050	“双碳”目标情景	部分私家车共享化	网约车: 保有量100%	网约车: 与自动驾驶深度结合
			私家车: 保有量70%, 渗透率99%	私家车: 自动驾驶L4级别
	技术变革情景	大部分私家车共享化, 车辆闲置化率较低	网约车: 保有量100%	网约车: 与自动驾驶深度结合
			私家车: 保有量80%, 渗透率100%	私家车: 自动驾驶L4级别
2060	“双碳”目标情景	网约车数量快速增长, 城市拥有私家车数量逐步降低	网约车: 保有量100%	网约车: 与自动驾驶深度结合, 基本实现无人驾驶
			私家车: 保有量99%	私家车: 自动驾驶L5级别; 个人拥有车辆所有权, 让渡部分使用权
	技术变革情景	大部分私家车为网约车提供运力, 实现全覆盖的共享化	网约车: 保有量100%	网约车: 自动驾驶L5级
			私家车: 保有量99%	私家车: 自动驾驶L5级, 让渡大部分使用权

3 结果分析

3.1 城市客运需求发展趋势

1) “双碳”目标情景。

依照构建的 T3E-SAM 模型, 结合第 2 节构建的情景参数, 得到未来不同城市客运出行方式需求的变化趋势。

城市出行领域需求将持续增加, 在 2040 年左右达到峰值, 2040—2060 年呈现下降趋势。随着城镇化推进和经济增长, 城市出行的需求将持续增加, 城市客运总量将从 2025 年的 3043 亿人次, 快速增长到 2040 年的 4519 亿人次, 增长 48.5%, 年均增长达

2.7%。2040 年后, 中国城镇化速度将趋缓, 人口总量下降, 老龄化程度增加, 总体出行呈现缓慢的下降趋势, 2060 年出行量将下降到 4205 亿人次, 2041—2060 年间年均下降率为 0.4%, 如图 3 所示。

从城市客运出行模式看, 私家车出行占比将持续上升。由于私家车能提供独立空间、实现自由选线, 在短距离出行更为快速、便捷, 私家车出行成为最主要的出行方式, 私家车出行比例将从 2023 年的 45.8%, 持续增加到 2060 年的 58.5%, 增加了近 13 个百分点。在一线、二线城市等人口密度较大的城市, 随着公共交通基础设施的完善、响应型公共交通为代

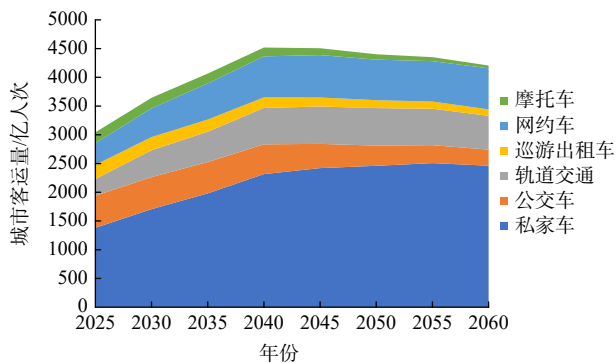


图3 “双碳”目标情景下不同城市客运出行方式需求的变化趋势

表的新模式涌现,居民出行将更多地使用公共交通,轨道交通出行占比从2025年的9.5%增长到2060年的14%,增长4.5个百分点。人口密度相对较低的城市,传统的大容量公共交通无法灵活满足分散出行的需求,公共交通需求将进一步下降,公交车出行占比从2023年的21.3%下降到2060年的6.7%,如图4所示。

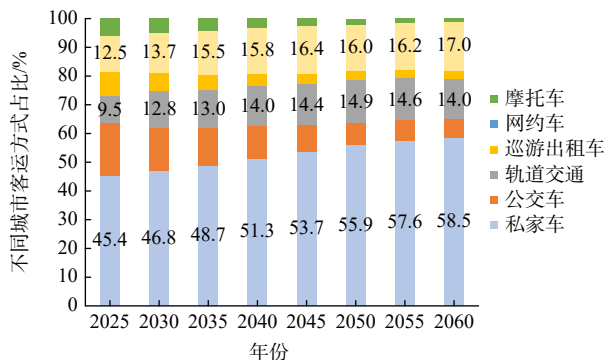


图4 “双碳”目标情景下不同城市客运方式占比变化趋势

2) 技术变革情景。

在技术变革情景下,共享化+智能化能够显著提升通行效率,为通勤者和其他出行的居民节省大量的时间,从而增加居民的出行需求。电动化+智能化将显著增加车辆行驶里程,汽车在路上运行或自动驾驶到更远的地方停车比就近停车交高昂的停车费更经济。电动车+自动驾驶出行成本将显著下降,每公里成本要比传统燃油车低50%~60%,需求就会增长20%~24%。

在该情景下,由于技术进步带来的出行便利,促使城市居民出行需求持续增长,城市交通出行量从2025年的3043亿人次,增长到2060年的5062亿人

次,年均增速保持在1.5%左右,该情景下2040年后城市客运量仍将保持较快增速,客运总量增长了12.1%,如图5所示。

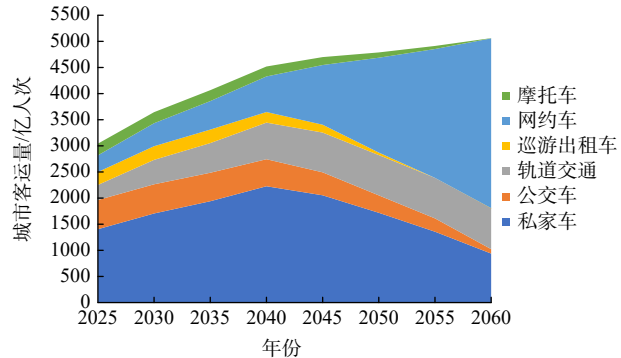


图5 技术变革情景下不同城市客运出行方式客运量变化趋势

从城市客运出行模式看,随着居民经济收入和生活水平的提高,出行服务的需求呈现个性化、差异化的趋势。尤其是受教育程度较高、经济较富裕或者存在特殊需求的人群,如病人、孕妇等,明显地在追求更高端的车型、更舒适的用车环境以及更加优质的服务体验^[25-26],城市经济GDP每提升1%,私家车数量增加1.58%,出行需求增加1.8%^[27]。随着智能化车辆的普及,居民的出行全流程从约租车、乘坐、支付等方面更加便捷;移动出行服务商及平台的智慧订单分配系统极大地提高了出行效率,在一定时期内网约车每增加1%,城市出行需求能够增加5%~10%^[28];共享出行业态导入了多样化的车辆,满足消费者差异化的出行需求和场景,共享出行补充了城市公共交通的运输空白^[29]。随着车辆完全共享化的情况下,居民将较少地拥有私家车,或将私家车在闲时作为“共享车辆”,通过自动驾驶租赁给其他有用车需求的消费者。在此情景下,到2060年,网约车(包括共享服务的私家车)出行占比将超过64%,成为城市最主要的出行方式,如图6所示。

3.2 城市交通能耗结构与碳排放变化趋势

1) 不同情景下能耗结构变化趋势。

在“双碳”情景下,随着城市客运量的上升,私家车、轨道列车、公交车、网约车保有量也将相应上升,城市交通能耗总量快速上升,从2025年的1.35亿tce(吨标准煤当量)增长到2040年的1.58亿tce,增长了17%;2060年增长到1.93亿tce,较2040年增长

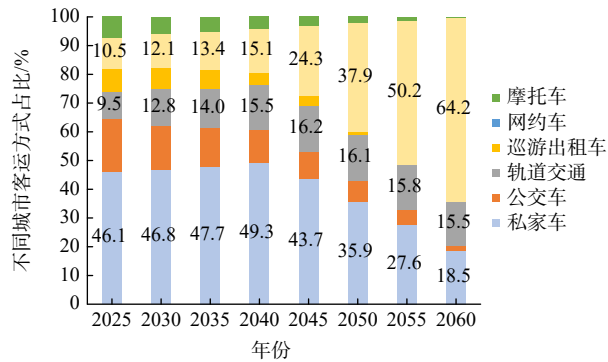


图6 技术变革情景下不同城市客运方式占比变化趋势

22.1%，如图7所示。分能源类型看，随着电动化的普及，电力逐步成为城市交通最主要的能源，2030年占比达13.1%，2060年占比将超过74.1%。

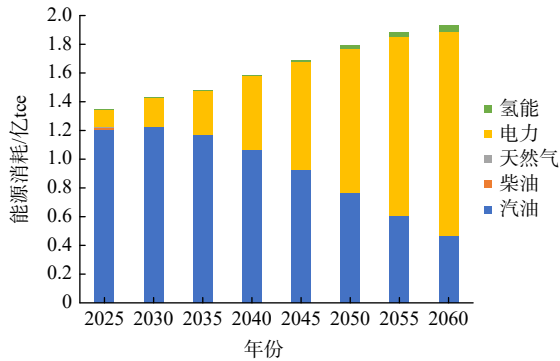


图7 “双碳”目标情景下能源消耗结构变化趋势

在技术变革情景下城市交通能耗总量从2025年的1.35亿tce增长到2040年的1.81亿tce，增长了34.1%；2060年增长到2.59亿tce，较2040年增长43.1%。依照3.1分析，城市客运量较“双碳”情景略有上升，技术变革情景下的能源消耗量相较于“双碳”情景有所上升，2060年能耗总量较“双碳”情景上升了34%，如图8所示。分能源类型看，在技术变革情景下，电动化推广速度更快、覆盖面更大，同时智能化设备的普及率更高，尤其是随着自动驾驶的快速普及，所需要的车路协同系统、车辆感知系统等设备的用电量增长巨大。因此，在2035年电力就成为了城市客运中最主要的能源，占比超过50%，持续增加到2040年的66.8%，2060年，城市交通基本实现电力化。

2) 不同情景下碳排放趋势分析。

在“双碳”目标情景下，城市客运碳排放量将于2027年左右达峰，峰值达到3.62亿t，其中，私家车是最主要的碳排放源，占城市客运碳排放总量的86.9%。

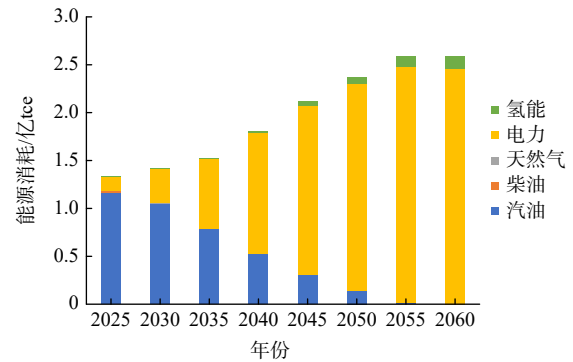
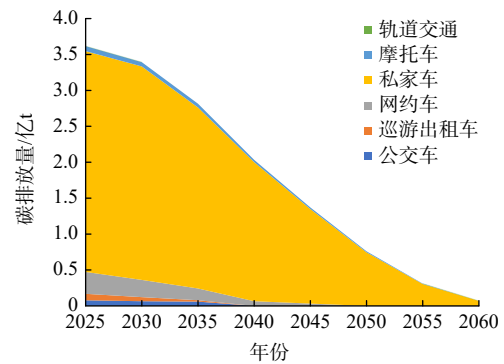


图8 技术变革情景下能源消耗结构变化趋势

随着新能源公交车的普及，公交车将最早于2038年达到零碳排放，巡游出租车于2040年左右达到零碳排放，网约车于2050年达到零碳排放，到2060年私家车将是唯一的城市碳排放源，排放量将降至600万t，如图9所示。



电力排在交通、建筑等行业中属于间接排放，
不纳入交通等用电行业的直接排放中

图9 “双碳”目标情景下不同城市客运方式碳排放量变化趋势

在技术变革情景下，新能源智慧化车辆的普及速度加快，城市客运碳排放总量将于2025年左右达峰，峰值达到3.6亿t，其中，私家车仍然是最主要的碳排放源，占城市客运碳排放总量的85.1%。公交车将最早于2035年左右达到零碳排放，巡游出租车于2040年左右达到零碳排放，网约车于2044年达到零碳排放，私家车将于2057年达到零排放(图10)。

3) 城市车辆变化趋势。

随着共享化理念和智能化车辆的普及、使用而非拥有成为大部分城市居民的共识，更多车主愿意将“闲时”的车辆(具备自动驾驶功能)资源通过共享平台进入出行市场，技术变革情景下，到2060年私家车保有量将减少到5544万辆，较2025年下降82%。网

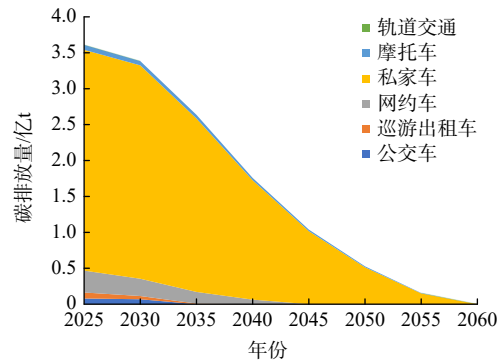


图 10 技术变革情景下不同城市客运方式
碳排放量变化趋势

约车将为城市出行提供大部分运力。城市车辆数将显著下降,到 2060 年,城市客运车辆总数将显著下降,较 2025 年减少 62%,城市出行效率也将大幅上升,如表 3 所示。

表 3 不同情景下私家车、网约车数量对比

年份	网约车/万辆		私家车/万辆	
	“双碳”目标	技术变革	“双碳”目标	技术变革
	情景	情景	情景	情景
2025	409	409	30559	30559
2030	429	429	35636	35636
2035	447	492	38939	38739
2040	461	1197	40041	33576
2045	472	2173	39334	26486
2050	484	3195	37468	17621
2055	489	4694	34863	10205
2060	494	6222	31414	5544

4 协调发展建议

4.1 技术赋能,加快智能化车辆应用

依照前文研究结论,智能化车辆的普及应用能够显著提升城市通行效率、减少车辆碳排放强度,是城市客运减排的关键。智能化车辆的应用需要自动驾驶技术的进一步完善、城市交通基础设施具备智能化设备配套、相关企业提供更具吸引力的出行解决方案。因此,建议政府主管部门、科研机构、交通设备提供商协同发力,推动智能化车辆应用。

1) 加强自动驾驶技术研发。建议相关主管部门设立自动驾驶基础理论研究的重大课题,提升中国自动驾驶领域理论研究深度。出台相关政策激励措施,

加快融合感知、车路信息交互、高精度时空服务、智能路侧系统、智能计算平台、网络安全等自动驾驶和基础设施智能化关键技术及装备的研发及应用。实现自动驾驶路径的全布局,包括以激光雷达和高精地图为代表单车智能路径;以视觉感知和影子模式为代表车辆智能路径;以网联化为主导的车路协同路径。

2) 提升道路基础设施智能化水平,推动自动驾驶等智能化技术落地。建议相关主管部门,在交通基础设施规划建设阶段,以建设新型交通基础设施为目标,推动感知网络、通信系统、云控平台等智能化技术及装备的应用,科学推进基础设施数字转型、智能升级。对有条件的省份及地区,鼓励建设智能化的交通基础设施,推动路侧感知系统、车用无线通信网络、定位和导航设施、路侧计算设施、交通云控平台等车路协同和自动化驾驶相关的技术应用。

3) 鼓励共享出行公司提供更加多元化、一体化的出行方案和服务。打造一站式移动出行平台,纳入车辆控制、车辆共享、停车预订、车上娱乐选项。集成自动驾驶车辆和其他交通模式,确保乘客方便易用、乘坐体验舒适、支付流程顺畅。考虑客户偏好、交通数据和其他情况,实现定制路线建议。预测性分析将用户偏好与出行建议配对,为居民提供具有经济性、个性化的出行方案。收集关于十字路口情景、交通堵塞、行程时间计量和碳排放等各个方面的信息。将此信息整合到更加智能的路线建议中,提高乘客的舒适度、便捷度。

4.2 理念赋能,推动“使用而非拥有”等共享理念的普及

依照前文研究表明,通过推动城市客运车辆共享化,能够显著降低城市车辆总数、提高车辆使用率和道路利用率,进而减少城市客运碳排放。共享理念的普及需要多方协同发力,政府主管部门建立信用体系保障车辆所有者权利,出行服务企业完善相关平台,城市居民积极参与。

1) 鼓励闲置资源(具有自动驾驶功能的私家车)与需求(个性化出行需求)的高效对接。推动“使用而非拥有”等共享理念在城市居民中的普及,对参与共享出行的个人和企业建立完善的信用体系,通过构建用户信用互评系统、保险赔付制度、信用惩罚机制,保障共享出行参与者的利益。

2) 完善共享出行相关基础设施。鼓励共享出行企业和其他交通运输企业一并搭建更加便捷高效的共享出行服务平台,打通公共交通、营运交通和共享出行交通的界限,为城市居民提供更加顺畅的出行服务。

3) 开展共享出行创建试点,加快共享理念推广。推动城市交通主管部门设计共享出行实施方案,选取典型城市推动共享出行试点建设。每年举办共享出行宣传月,共享出行体验周等活动,广泛动员城市居民积极参与到共享出行中,培养共享出行文化,营造共享出行环境。

4.3 管理赋能,支撑智能化、共享化出行落地

推动智慧化、共享化出行在城市落地,需要政府层面出台相关的法律、法规、标准、监测、管控政策,提供宽松高效的监管环境。因此,需要交通运输部、工业和信息化部、科学技术部、市场监督管理总局等相关主管部门协同出台相关政策措施。

1) 制定提供法律、法规、标准等政策措施。针对未来自动驾驶的适用范围,私家车与共享化的融合服务界定责任义务。研究智能化、共享化的法律法规、规范共享出行企业、自动化驾驶提供商的运营和服务质量,以及保护消费者和公共安全,支撑相关产业有序发展。

2) 研究自动驾驶商业化运行后的监测和管控政策。开展自动驾驶与人工驾驶混行情况下的交通特性及影响机理研究,建立智能、高效、实时的监测体系,保障对交通事故权责的清晰划分。开展面向未来的出行需求管理、实时路况反馈、交通流控制、交通事故处理等管理系统,提高城市道路资源的利用率,提升城市交通安全应急能力。

3) 营造适应创新落地的监管环境。鼓励自动驾驶技术方案提供商、共享企业在法律规定的范围内快速发展,面对发展过程中存在的新形势、新问题,相关主管部门及时调整、出台相关制度,消除创新性产品落地所面临的信任困境。同时,发展适应新业态的监管体系,利用大数据、区块链、云计算等新技术,加强对相关企业的监督和检查,对企业及个人的信用记录、违法失信行为实现实时监管、披露和惩罚,实现监管信息的快速响应。

参考文献(References)

- [1] 周伟,王雪成. 中国交通运输领域绿色低碳转型路径研究[J]. 交通运输研究, 2022, 8(6): 2-9.
- [2] 杜修立,张昱昭. 中国城镇化率提升的动力分解与新发展阶段趋势预测——基于国际比较的一种新方法[J]. 统计研究, 2022, 39(2): 33-47.
- [3] 金昱. 国际大城市交通碳排放特征及减碳策略比较研究[J]. 国际城市规划, 2022, 37(2): 25-33.
- [4] 冯相昭,蔡博峰. 中国道路交通系统的碳减排政策综述[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(8): 10-15.
- [5] 继敏. 超大城市交通碳减排的激励机制与实现途径[J]. 生态经济, 2021, 37(9): 34-39.
- [6] 余碧莹,赵光普,安润颖,等. 碳中和目标下中国碳排放路径研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2021, 23(2): 17-24.
- [7] 袁志逸,李振宇,康利平,等. 中国交通部门低碳排放措施和路径研究综述[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(1): 27-35.
- [8] 李晓易,谭晓雨,吴睿,等. 交通运输领域碳达峰、碳中和路径研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(6): 15-21.
- [9] 杨青,吴向荣,刘洋,等. 国家中心城市交通碳排放效率的空间网络结构及动因研究[J]. 环境工程技术学报, 2024, 14(4): 1167-1177.
- [10] 李迅,曹广忠,徐文珍,等. 中国低碳生态城市发展策略[J]. 城市发展研究, 2010, 17(1): 32-39, 45.
- [11] 王元庆,李若彤. 城市群交通碳达峰与碳中和研究综述与展望[J]. 交通运输研究, 2021, 7(5): 2-9.
- [12] 周银香. 基于系统动力学视角的城市交通能源消耗及碳排放研究——以杭州市为例[J]. 城市发展研究, 2012, 19(9): 99-105.
- [13] 刘俊伶,孙一赫,王克,等. 中国交通部门中长期低碳发展路径研究[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(5): 513-521.
- [14] Wang X, Feng S, Tang T. Acceptability toward policy mix: Impact of low-carbon travel intention, fairness, and effectiveness[J]. Sustainability, 2023, 15(20): 150-170.
- [15] Hou X, Lv T, Xu J, et al. Evaluation of urban public transport sustainability in China based on the driving force-pressure-state-impact-response (DPSIR) framework: A case study of 36 major cities[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2023, 103: 107263.
- [16] 史丹,叶云岭. 城市交通碳排放趋势与减排对策研究——以上海市为例[J]. 现代管理科学, 2022, 335(4): 3-14.
- [17] 曹石,林欣蓉,周典伟,等. “双碳”目标下南通低碳城市交通转型路径研究[J]. 物流技术, 2023, 42(3): 1-5, 9.
- [18] Wang X, Zhou Y, Bi Q, et al. Research on the low-carbon development path and policy options of China's transportation under the background of dual carbon goals[J]. Frontiers in Environmental Science, 2022, 10: 21-37.
- [19] Zhao X, Hu H, Yuan H, et al. How does adoption of electric

- vehicles reduce carbon emissions? Evidence from China[J]. *Heliyon*, 2023, 9(9): 114–126.
- [20] Fuinhas J A, Koengkan M, Leitão N C, et al. Effect of battery electric vehicles on greenhouse gas emissions in 29 European Union countries[J]. *Sustainability*, 2021, 13(24): 136–147.
- [21] Massar M, Reza I, Rahman S M, et al. Impacts of autonomous vehicles on greenhouse gas emissions—positive or negative?[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(11): 5567.
- [22] 刘永红, 张帆, 苗领, 等. 广东不同区域汽车新能源化的减碳潜力及成本预测[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2024, 24(1): 299–310.
- [23] Jia Z, Yin J, Cao Z, et al. Sustainable transportation emission reduction through intelligent transportation systems: Mitigation drivers, and temporal trends[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2025, 112(10): 67–77.
- [24] Wu W, Liu Y, Liu W, et al. Autonomous intersection management for connected and automated vehicles: A lane-based method[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021, 23(9): 15091–15106.
- [25] 李聪颖, 吴佳西, 张洪涛, 等. 建成环境对城市机动车出行时空异质影响研究[J]. *交通运输工程与信息学报*, 2024, 22(4): 52–66.
- [26] 王正武, 向梓源, 刘鑫. 基于系统动力学模型的城市交通拥堵治理策略研究[J]. *长沙理工大学学报(自然科学版)*, 2022, 19(1): 81–88.
- [27] Geržinič N, van Oort N, Hoogendoorn-Lanser S, et al. Potential of on-demand services for urban travel[J]. *Transportation*, 2023, 50(4): 1289–1321.
- [28] Huang G, Qiao S, Yeh A G O. Spatiotemporally heterogeneous willingness to ridesplitting and its relationship with the built environment: A case study in Chengdu, China[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2021, 133(10): 25–34.
- [29] 马爽, 陈欣, 马嘉悦, 等. 基于网约车出行的长三角城市群空间关联网络特征与影响因素识别[J]. *热带地理*, 2024, 44(5): 864–876.

Study on the contribution of shared, electrified and intelligent applications to urban transportation emission reduction and policy synergy

WANG Xuecheng, LONG Yuxuan*, ZHANG Yi, WANG Baochun

China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China

Abstract China's population mostly resides in its cities. Large scale, quick growth, and challenging decarbonization are the characteristics of carbon emissions from the urban transportation sector. Future urban travel patterns will be significantly impacted by new transportation forms like sharing and intelligence, which are also a key component of the urban passenger transport emission reduction strategy. In order to forecast future urban passenger transport demand and quantify the emission reduction effects of shared and intelligent transportation, this paper applies the T3E–SAM model and set up dual carbon target scenarios and technological transformation scenario. The findings indicate that, between 2025 and 2040, China's urban passenger traffic is expected to grow at an average annual rate of 2.7%. After 2040, the growth rate will exhibit a declining trend, averaging 0.4% yearly decrease from 2041 to 2060. In the dual carbon target scenario, carbon emissions from urban passenger transportation will peak in 2027, and by 2060, carbon emissions from private vehicles will be the only source of emissions. Urban passenger transport carbon emissions are predicted to peak in 2025 and reach zero in 2057 under the technological transformation scenario. The widespread adoption of shared, electric, and intelligent technologies will support the achievement of urban transportation zero-emission goals, reduce the number of private vehicles, and significantly improve urban transportation efficiency. Based on the results of the model, this article puts forward a series of policy collaborative development suggestions: "Technological empowerment to accelerate the application of intelligent vehicles; Concept empowerment to promote the popularization of sharing concepts such as use rather than ownership; Management empowerment to support intelligence and sharing Transform travel into reality".

Keywords shared urban transportation; emission reduction; policy coordination; emission reduction potential; urban passenger transport ●



(责任编辑 卫夏雯)