

# 数字平台环境下低碳出行服务的用户选择行为研究

刘涛, 董洁霜

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2026年2月26日; 录用日期: 2026年3月11日; 发布日期: 2026年4月3日

## 摘要

在数字平台深度嵌入出行服务供给的背景下, 跨城通勤逐步演化为一种典型的电子商务型服务消费行为。本文以上海及其周边通勤城市为研究对象, 基于调研数据构建序贯结构方程-巢式Logit (SEM-NL) 两阶段模型, 系统分析碳约束条件下数字平台政策工具、心理认知与现实约束对跨城通勤方式选择的影响机制。结果表明, 低碳出行意图在用户服务选择中处于核心地位, 主要受碳约束感知与平台化政策认知驱动; 通勤时间与出行费用仍构成重要现实约束。情景模拟显示, 在合理区间内, 碳税与平台补贴、信息推送等数字化工具协同实施, 可显著提升低碳出行服务的选择比例, 并在减排效果与用户接受度之间形成较优平衡。研究揭示了电子商务背景下跨城通勤服务的低碳行为机理, 为数字出行平台治理与“双碳”目标下的差异化政策设计提供实证参考。

## 关键词

电子商务, 数字平台, 低碳出行, 用户选择行为, SEM-NL模型

# Research on User Choice Behavior of Low-Carbon Mobility Services in Digital Platform Environments

Tao Liu, Jieshuang Dong

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: February 26, 2026; accepted: March 11, 2026; published: April 3, 2026

## Abstract

With the deep integration of digital platforms into the provision of mobility services, cross-city

commuting has gradually evolved into a typical form of e-commerce-based service consumption. Focusing on Shanghai and its surrounding commuting cities, this study constructs a two-stage Sequential Structural Equation Model-Nested Logit (SEM-NL) framework based on survey data to systematically analyze the mechanisms through which digital platform policy instruments, psychological perceptions, and practical constraints influence users' mode choice under carbon constraints. The results indicate that low-carbon travel intention plays a central role in users' service selection, primarily driven by perceptions of carbon constraints and awareness of platform-based policy measures. Meanwhile, commuting time and travel cost remain important practical constraints in decision-making. Scenario simulations further show that, within a reasonable range, the coordinated implementation of carbon taxation and digital platform tools—such as fare subsidies and information nudging—can significantly increase the adoption of low-carbon mobility services, achieving a favorable balance between emission reduction effectiveness and user acceptance. This study reveals the behavioral mechanisms underlying low-carbon mobility service choices in an e-commerce context and provides empirical evidence to support differentiated policy design for digital mobility platform governance in pursuit of carbon neutrality goals.

## Keywords

E-Commerce, Digital Platforms, Low-Carbon Mobility, User Choice Behavior, SEM-NL Model

Copyright © 2026 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

随着数字经济与区域一体化加速推进,出行服务正由传统供给模式转向以数字平台为核心的网络化形态。跨城通勤作为高频刚性需求,在移动互联与智能调度技术支撑下,演变为典型的数字化服务消费行为。上海都市圈跨城通勤规模持续扩大,成为区域协同发展的重要支撑。与此同时,“双碳”战略使出行服务的碳排放问题日益突出:私家车灵活高效但碳强度高,高铁、公交等低碳服务则面临用户接受度不足的困境。如何在碳约束下通过数字化政策工具引导用户优化服务选择,实现效率、体验与低碳目标的协同,已成为数字出行服务治理的核心议题。

现有研究围绕跨城通勤与出行选择问题,主要从空间结构、方式选择与政策激励等角度展开。部分研究基于城市功能联系与职住关系,刻画了跨城通勤的空间模式,为理解都市圈内要素流动提供了重要参考。谢琛等[1]将跨城通勤模式划分为边缘-边缘型、边缘-核心型和核心-核心型,为理解都市圈职住关系提供了框架。钮心毅等[2]以上海都市圈为例,指出苏沪通勤既表现为“中心-中心”的职住联系,也存在“择居主导”与“择业主导”的不同模式,凸显跨城通勤的复杂性与差异性。

也有学者从用户行为视角,运用离散选择模型分析通勤服务选择的影响因素,发现时间成本、价格水平与个体属性在决策中具有显著作用。宋顺峰等[3]利用多项 Logit 模型(Multinomial Logit model, MNL)模型刻画了通勤方式选择的多维影响因素。胡严艺等[4]研究发现交通碳排放收费能有效推动低碳出行。张华歆等[5]研究发现提高交通信息查询频率和满意度会显著促进通勤者选择停车换乘方式并向公共交通转移。考虑到 MNL 模型的独立无关替代性(Independence of Irrelevant Alternatives, IIA)局限,Williams 提出巢式 Logit 模型(Nested Logit model, NL)以克服方案独立性假设。相关研究表明, NL 模型在解释通勤者的实际选择行为时更具优势。Espino R 等[6]采用 NL 模型研究发现惩罚私家车使用来提升公交乘坐率的效果远优于直接改善公交服务。Meena 等[7]与王殿海等[8]的研究则验证了出行时间、收费与奖励政策对方式选择的显著影响。

随着数字平台在出行服务中的广泛应用, 相关研究逐渐关注信息获取、政策认知与服务体验等软性因素对用户决策的影响。一些研究表明, 基于价格惩罚或激励机制的政策工具能够在短期内促使用户向低碳服务转移, 而信息透明度与服务体验的提升则对用户长期行为具有更为深远的影响。惠晨曦等[9]发现合理激励能有效引导交通流转向公共交通。Tian 等[10]通过在线实验与基于代理的仿真, 对比了惩罚性与激励性交通需求管理策略的即时及长期效果, 发现惩罚策略初期更有效但效果随时间减弱, 而奖励措施能维持长期优化。KUMAR 等[11]研究发现, 基于激励的出行需求管理策略能有效改变高峰驾车行为, 但需持续实施才能产生持久效果, 否则行为将恢复原状。吴文静等[12]基于心理账户理论构建公交优惠换乘模型, 指出时间与费用账户的风险偏好显著影响乘客选择, 动态优惠可兼顾出行占比与运营收入。李亚平[13]等通过高校园区调查发现, 现金奖励对方式选择的影响略强于积分奖励, 且出行距离感知等个体差异对政策效果具有重要作用。

在用户决策研究中, 单纯依赖成本与时间等显性变量, 往往难以充分解释真实选择行为。电子商务领域的相关研究表明, 用户认知、态度与平台体验等心理因素, 会通过影响价格敏感性与风险感知, 间接塑造最终决策结果。结构方程模型(SEM)因其能够刻画潜在心理因素与显性变量之间的关系, 被广泛应用于消费行为与服务选择研究中。将 SEM 与离散选择模型相结合, 有助于在统一框架下同时解释“意图形成”与“实际选择”两个层面的用户行为。

综上所述, 现有研究在跨城通勤与出行选择领域已取得较为丰富的成果, 但仍存在以下不足: 一是多数研究仍以传统交通决策为核心, 较少从电子商务与数字平台视角审视跨城出行服务的用户选择行为; 二是对碳约束条件下数字化政策工具、平台激励机制与用户心理认知之间的联动关系关注不足; 三是缺乏同时兼顾心理意图形成与实际服务选择行为的综合分析框架。

基于此, 本文以上海及其周边城市为研究对象, 构建结构方程模型与巢式 Logit 模型相结合的 SEM-NL 整合模型, 从数字平台与低碳政策工具视角系统分析跨城出行服务的用户选择行为。研究结果可为电子商务环境下的数字出行服务治理及低碳消费引导提供实证支持。

## 2. 理论基础及模型构建

### 2.1. 理论基础

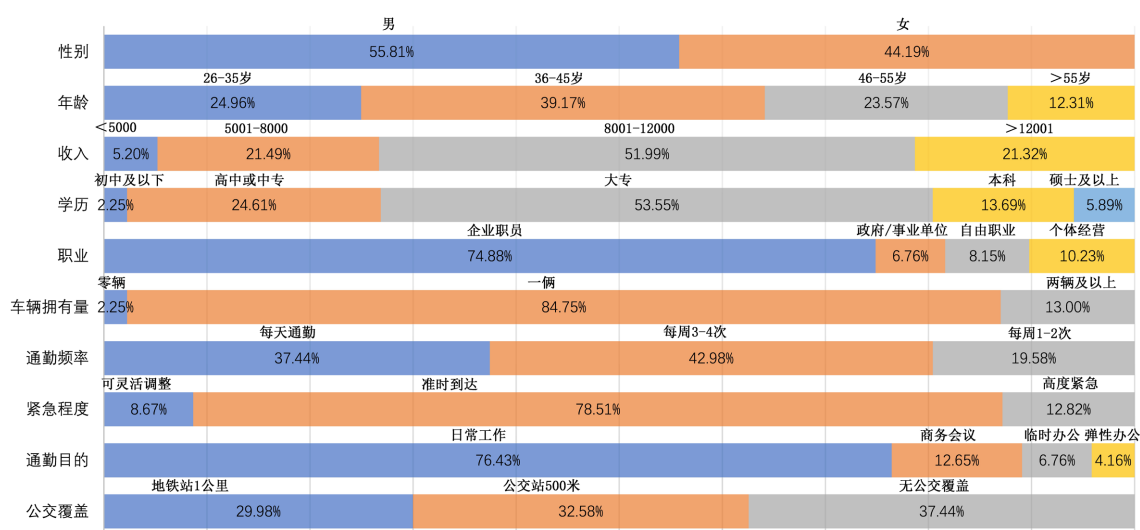


Figure 1. Model framework diagram  
图 1. 模型框架图

在数字平台深度介入出行服务供给的背景下, 跨城通勤演化为融合平台信息、价格机制与用户认知的服务选择行为, 传统离散选择模型难以全面刻画其决策机理。为此, 本文构建结构方程模型(SEM)与巢式 Logit 模型(NL)相结合的两阶段分析框架: 首先, 通过 SEM 识别低碳出行意图等关键潜变量, 解释用户“为何倾向于某类服务”; 其次, 将潜变量与显性变量共同纳入 NL 模型的效用函数, 刻画用户“最终选择哪种服务”的实际行为。SEM-NL 整合模型将心理意图与实际选择纳入统一框架, 更契合电子商务环境下的用户决策逻辑。模型整体框架如图 1 所示。

## 2.2. 模型构建

### (1) 结构方程模型(SEM)

在第一阶段, 采用结构方程模型刻画用户心理潜变量与其观测指标之间的关系, 用以解释低碳出行意图的形成机制。SEM 的测量模型可表示为:

$$X = \Lambda_x \xi + \delta \quad (1)$$

$$Y = \Lambda_y \eta + \epsilon \quad (2)$$

其中,  $X$  与  $Y$  分别表示外生与内生观测变量向量,  $\xi$  与  $\eta$  为对应的潜变量向量,  $\Lambda_x$  与  $\Lambda_y$  为因子载荷矩阵,  $\delta$  与  $\epsilon$  为测量误差项。通过 SEM 估计可获得各潜变量的得分, 用以表征用户在碳约束与平台政策情境下的低碳出行意图及相关心理认知特征。

### (2) 巢式 Logit 模型(NL)

在第二阶段, 基于随机效用理论, 采用巢式 Logit 模型分析用户对不同出行服务的选择行为。考虑到出行服务在碳排放属性上的差异性, 本文将可选方案划分为低碳出行服务巢(高铁/动车、长途公交)与高碳出行服务巢(私家车、拼车), 以反映用户在服务类别层面与具体方案层面的分层决策过程。

用户  $m$  选择出行服务  $i$  的效用函数表示为:

$$U_{mi} = V_{mi} + \epsilon_{mi} \quad (3)$$

其中,  $V_{mi}$  为确定性效用部分,  $\epsilon_{mi}$  为随机误差项。将 SEM 估计得到的心理潜变量引入效用函数后, 确定性效用可表示为:

$$V_{mi} = \alpha_i + \sum_l a_{ml} s_{mli} + \sum_q b_{mq} z_{mqi} + \sum_k c_{mk} \eta_{mki} \quad (4)$$

式中,  $\alpha_i$  为出行服务  $i$  的常数项,  $s_{ml}$  表示用户社会经济属性变量,  $z_{mqi}$  表示出行服务特征变量,  $\eta_{mki}$  为 SEM 测量得到的心理潜变量,  $a_l$ 、 $b_q$  与  $c_k$  为待估参数。

用户选择属于巢  $n$  的方案  $r$  的概率为:

$$P_m(rn) = P_m(r|n)P_m(n) \quad (5)$$

其中, 巢内选择概率为:

$$P_m(r|n) = \frac{\exp(\mu_n V_{mr})}{\sum_{j \in n} \exp(\mu_n V_{mj})} \quad (6)$$

巢选择概率为:

$$P_m(n) = \frac{\exp(\theta_n + \lambda_n I_{mn})}{\sum_h \exp(\theta_h + \lambda_h I_{mh})} \quad (7)$$

巢的包容值(Inclusive Value)定义为:

$$I_{mn} = \ln \sum_{j \in n} \exp(\mu_n V_{mj}) \quad (8)$$

其中,  $\mu_n$  为巢内尺度参数,  $\theta_n$  与  $\lambda_n$  为巢选择层参数,  $I_{mn}$  反映巢内各出行服务综合效用水平。

通过将低碳出行意图等心理潜变量嵌入效用函数, SEM-NL 模型能够刻画用户心理认知对价格敏感性与服务偏好的调节作用, 从而更全面地解释数字平台环境下跨城出行服务的用户选择行为。

### 3. 用户调查与变量设计

#### 3.1. 用户调查与平台情境设计

在数字平台介入出行服务的背景下, 跨城通勤成为一种网络化消费行为。本研究于 2025 年 6~7 月以上海及周边城市为区域开展线上调查, 获取 SEM-NL 模型所需数据。问卷包括: (1) 用户基本属性与出行特征; (2) 心理潜变量(如环保意识、低碳意愿等); (3) 陈述性偏好实验, 涉及私家车、高铁、长途公交与拼车四类服务, 并设置碳约束与价格情境。共发放问卷 1000 份, 回收有效样本 901 份, 有效率 90.1%。样本在性别、年龄、职业等方面分布均衡, 能较好代表研究区域通勤用户特征。描述性统计结果如图 2 所示。

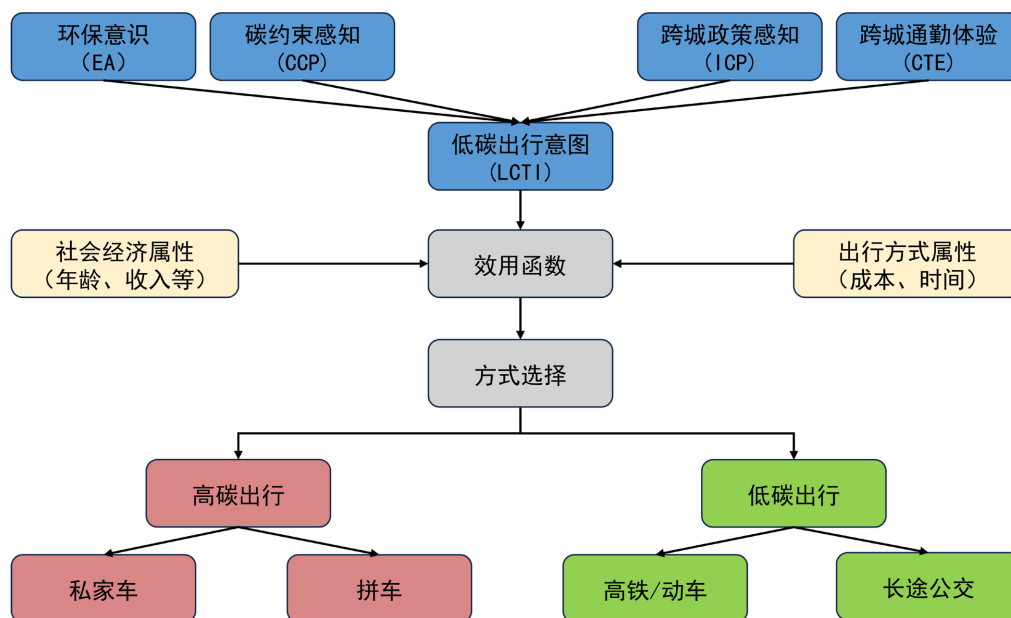


Figure 2. Descriptive statistics  
图 2. 描述性统计

#### 3.2. 心理潜变量与观测指标设计

结合数字平台环境下低碳出行服务选择的研究目标, 本文从用户认知与服务体验角度构建了 5 个核心心理潜变量, 并设计相应的观测指标(见表 1)。其中, 环保意识(EA)用于刻画用户对低碳理念与环境责任的总体认同程度; 碳约束感知(CCP)反映用户对碳税、补贴、积分激励等数字化政策工具的敏感性; 低碳出行意图(LCTI)用于衡量用户在碳约束情境下对低碳出行服务的主观偏好; 跨城政策感知(ICP)体现用户对跨城低碳政策及其平台化实施效果的认知与评价; 跨城通勤体验(CTE)则用于描述用户对跨城出行服务在班次供给、换乘便捷性及数字信息支持等方面的综合体验。这些潜变量共同构成用户在数字平台环境下进行跨城出行服务选择的重要心理基础, 为解释用户决策行为提供了关键认知维度。

**Table 1.** Design of latent variables and their observed indicators  
**表 1.** 潜变量及其观测变量设计表

潜变量	编号	观测变量
环保意识(EA)	EA1	全球气候变化已对人类生存构成严重威胁
	EA2	减少个人碳足迹是每个公民应尽的责任
	EA3	我愿意为环保事业适当调整通勤习惯
碳约束感知(CCP)	CCP1	若征收碳税, 我会显著减少高碳出行方式使用
	CCP2	政府公交补贴会增加我选择公交的可能性
	CCP3	亲友选择低碳出行会促使我效仿
	CCP4	碳积分兑换流程简单便捷
	CCP5	碳积分商城的奖励具有吸引力
低碳出行意图(LCTI)	LCTI1	即使通勤时间增加, 我也会优先选择公共交通
	LCTI2	我愿意为乘坐新能源交通工具支付更高票价
	LCTI3	我会在出行前比较不同方式的碳排放
跨城政策感知(ICP)	ICP1	我认为跨城通勤的碳排放应纳入个人碳账户管理
	ICP2	政府规划的跨城定制公交线路能有效减少我的碳排放
	ICP3	跨城通勤的碳积分兑换政策对我没有吸引力
跨城通勤体验(CTE)	CTE1	跨城高铁/公交的班次密度能满足我的通勤需求
	CTE2	跨城换乘过程复杂且耗时
	CTE3	跨城交通 APP 能提供实时碳排放与路线优化建议
	CTE4	跨城公交末班车时间能衔接加班需求

### 3.3. 信度与效度检验

为确保调查数据的有效性和可靠性, 本研究使用 SPSS 和 Amos 软件, 结合验证性因子分析(CFA)方法对数据进行了信度与效度检验。信度检验采用 Cronbach's Alpha 系数评估量表的内在一致性。依据 Hair 等[14]人的标准:  $\alpha > 0.9$ , 表示信度极佳; 0.8~0.9 表示信度很好; 0.7~0.8 表示信度良好; 0.6~0.7 表示信度可接受;  $\alpha < 0.6$  则表明信度不足, 需重新设计量表。效度检验通过组合信度(CR)、因子载荷和平均方差提取值(AVE)评估。标准阈值为: CR > 0.7, 因子载荷 > 0.5 (理想状态 > 0.7), AVE > 0.5。满足这些标准表明潜变量的测量指标具有较好的聚合效度。区分效度检验根据 Fornell-Larcker 准则判断, 若潜变量 AVE 的平方根大于该潜变量与其他潜变量间的相关系数, 则表明数据具有良好的区分效度。具体检验结果详见表 2, 表 3。

**Table 2.** Factor loadings, Cronbach's  $\alpha$ , CR, and AVE values  
**表 2.** 因子载荷系数、Cronbach's Alpha 系数、CR 和 AVE 值

潜变量	观测变量	因子载荷	Cronbach's Alpha	CR	AVE
EA	EA1	0.877***	0.834	0.900	0.751
	EA2	0.872***			
	EA3	0.850***			

续表

CCP	CCP1	0.897***	0.930	0.947	0.782
	CCP2	0.884***			
	CCP3	0.866***			
	CCP4	0.894***			
	CCP5	0.880***			
LCTI	LCTI1	0.877***	0.817	0.894	0.738
	LCTI2	0.813***			
	LCTI3	0.886***			
ICP	ICP1	0.897***	0.871	0.921	0.796
	ICP2	0.884***			
	ICP3	0.895***			
CTE	CTE1	0.899***	0.910	0.937	0.788
	CTE2	0.903***			
	CTE3	0.884***			
	CTE4	0.865***			

Table 3. Discriminant validity test results

表 3. 区分效度检验结果

	EA	CCP	LCTI	ICP	CTE
EA	<b>0.867</b>				
CCP	0.563	<b>0.884</b>			
LCTI	0.628	0.664	<b>0.859</b>		
ICP	0.644	0.697	0.659	<b>0.892</b>	
CTE	0.677	0.706	0.663	0.691	<b>0.888</b>

注：斜对角线加粗数字为 AVE 平方根值，对角线下方为皮尔逊相关系数。

综上，本研究模型中各潜变量与其对应题项的标准化因子载荷均满足大于 0.5 的标准，且各题项显著性水平皆为  $p < 0.001$ ，说明结构效度良好。所有  $\alpha$  系数均高于 0.7 (最低 LCTI = 0.817)，CR 全部大于 0.89，信度表现优异；AVE 全部大于 0.7 (最低 LCTI = 0.738)，明显高于 0.5 的标准。区分效度检验结果亦表明各潜变量之间均具有显著差异性，数据整体满足后续 SEM-NL 模型构建的要求。

## 4. 结果分析

### 4.1. 用户低碳出行意图的形成机制

为检验用户在数字平台与碳约束情境下的心理认知结构，本文首先对结构方程模型进行拟合检验。如表 4 所示，各项拟合指标均达到或优于推荐阈值，模型适配度良好，可用于分析低碳出行意图的形成机制。

路径分析结果显示如表 5 所示，碳约束感知(CCP)是影响用户低碳出行意图(LCTI)的最直接因素( $\beta = 0.321, p < 0.001$ )，表明用户对碳税、补贴等数字化政策工具的清晰感知能显著增强其低碳选择意愿。跨

城政策感知(ICP) ( $\beta = 0.263, p < 0.001$ )与跨城通勤体验(CTE) ( $\beta = 0.235, p < 0.001$ )同样对低碳出行意图产生显著正向影响, 说明平台政策透明度与服务体验是激发低碳选择的重要条件。相比之下, 环保意识(EA)对低碳出行意图的直接影响相对较弱( $\beta = 0.145, p = 0.001$ ), 其主要通过强化用户对碳约束政策的认知间接发挥作用(EA $\rightarrow$ CCP:  $\beta = 0.874, p < 0.001$ )。这表明在数字平台环境下, 抽象的环保态度需借助明确的制度信号与平台激励机制, 才能有效转化为服务选择行为。

**Table 4.** Model fit indices

**表 4.** 模型拟合指标

评价指标	$\chi^2/df$	GFI	RMSEA	CFI	TLI	AGFI
评价标准	<3	>0.9	<0.10	>0.9	>0.9	>0.9
模型结果	1.011	0.983	0.004	0.989	0.984	0.978

**Table 5.** Path coefficient estimates of latent variables

**表 5.** 潜变量路径系数值

X	$\rightarrow$	Y	SE	CR	标准化路径系数	p
EA	$\rightarrow$	CCP	0.020	53.402	0.874	0.000
EA	$\rightarrow$	LCTI	0.044	3.423	0.145	0.001
CCP	$\rightarrow$	LCTI	0.028	10.067	0.321	0.000
ICP	$\rightarrow$	LCTI	0.028	7.765	0.263	0.000
CTE	$\rightarrow$	ICP	0.016	57.714	0.890	0.000
CTE	$\rightarrow$	LCTI	0.038	5.346	0.235	0.000

为进一步剖析各潜变量的作用机制, 本研究计算了其对低碳出行意图(LCTI)的直接效应、间接效应及总效应, 结果如表 6 所示。分析发现, 跨城通勤体验(CTE)通过“体验 - 政策认知 - 行为意图”的双重路径机制发挥最大综合效应, 其总效应在所有潜变量中最高。这表明, 提升数字平台中出行服务的可达性、信息支持与使用体验, 不仅能够直接增强用户低碳意图, 还能通过提升其对低碳政策的认可度间接放大行为效应。

**Table 6.** Path effects of latent variables

**表 6.** 潜变量路径效应

	路径关系	直接效应	间接效应	总效应
EA	$\rightarrow$ LCTI	0.145	0.281	0.426
CCP	$\rightarrow$ LCTI	0.321	-	0.321
ICP	$\rightarrow$ LCTI	0.263	-	0.263
CTE	$\rightarrow$ LCTI	0.235	0.234	0.469

#### 4.2. 数字平台环境下的出行服务选择行为

在刻画用户心理意图的基础上, 本文进一步构建 SEM-NL 联合模型, 分析数字平台环境下用户对不同跨城出行服务的实际选择行为。模型拟合结果显示, SEM-NL 模型在对数似然值、AIC 及修正后的  $\rho^2$  等指标上均优于不含心理变量的 NL 模型, 表明引入用户心理认知有助于更准确地解释服务选择行为。具体结果如表 7 所示。

从用户属性与服务特征来看, 年龄、收入及车辆拥有量对长途公交等低碳服务的选择具有显著抑制作用, 说明在数字出行服务市场中, 高收入或高机动性用户更倾向于选择效率与舒适性更高的服务方案。与此同时, 通勤时间与通勤费用在所有服务中均表现为显著负向影响因素, 其中长途公交对时间与费用最为敏感, 反映其在跨城服务竞争中的相对劣势。

值得注意的是, 在引入心理潜变量后, 部分原本显著的“紧急性”“准时性”等显性变量不再显著, 说明用户对服务可靠性的态度已被低碳出行意图等心理变量所吸收, 进一步验证了心理认知在数字服务选择中的中介作用。

在碳约束相关变量方面, 本文将多个心理潜变量加权整合为综合低碳出行意图指标(LCTI-total), 并与通勤费用构成交互项引入模型。结果显示, “LCTI × 费用”在不同服务类型中呈现出差异化作用: 在高铁/动车服务中, 交互项为负, 表明低碳意图增强后, 用户对价格更为敏感, 更注重服务性价比; 在长途公交服务中, 交互项为正, 说明部分用户在低碳意图较强时, 愿意为实现低碳目标承担一定额外成本。该结果表明, 用户低碳出行意图不仅影响其是否选择某类服务, 还会重塑其对价格的敏感性结构, 这是电子商务环境下用户决策的重要特征。

**Table 7.** Parameter estimation results of the NL and SEM-NL models

**表 7.** NL 与 SEM-NL 模型参数估计结果

特征变量	NL 模型			
	私家车	高铁/动车	长途公交	拼车
常数项	—	8.105***	12.142***	10.585***
年龄	—	—	-0.031***	—
收入	—	-0.028**	-0.060***	-0.050**
车辆拥有量	—	—	-0.516***	—
通勤时间	-0.014***	-0.045***	-0.044***	-0.012***
通勤费用	-0.102***	-0.063***	-0.180***	-0.023*
通勤频率	—	-0.075***	-0.139***	-0.123***
高度紧急	—	—	-0.774**	-0.750**
准时到达	—	-0.396**	—	—
Nest- $\lambda$ _low		0.796***		
$L(\hat{\theta})$		-1988.298		
$\rho^2$		0.379		
修正后的 $\rho^2$		0.363		
AIC		4078.595		
特征变量	SEM-NL 模型			
	私家车	高铁/动车	长途公交	拼车
常数项	—	8.347***	13.170***	11.062***
年龄	—	—	-0.028*	—
收入	—	—	-0.064*	—
车辆拥有量	—	—	-0.521*	—

续表

通勤时间	-0.014***	-0.045***	-0.045***	-0.012***
通勤费用	-0.104***	-0.066***	-0.184***	-0.023**
通勤频率	—	-0.078*	-0.160**	-0.124*
高度紧急	—	—	—	—
准时到达	—	—	—	—
LCTI × 费用	—	-0.002*	0.009**	—
Nest-λ_low			0.796***	
$L(\hat{\theta})$			-1984.31	
$\rho^2$			0.380	
修正后的 $\rho^2$			0.366	
AIC			4058.624	

显著性水平: \* p < 0.05, \*\* p < 0.01, \*\*\* p < 0.001。

### 4.3. 数字化碳约束与平台政策情景模拟

为进一步评估数字化碳约束政策对用户服务选择与减排效果的影响, 本节基于敏感性分析进行情景模拟, 结果如图 3 所示, 碳税水平对跨城通勤出行方式选择和 CO<sub>2</sub> 排放具有显著影响。在无碳税情境下, 高碳出行方式占据主导地位(62.57%), 其中私家车比例最高(47.83%), 高铁/动车、长途公交和拼车分别为 31.54%、5.89%和 14.73%。随着碳税逐步提高, 通勤方式发生明显转移: 私家车份额持续下降(至 20 元时降幅达 79.8%), 高铁/动车份额显著上升(增加至 63.87%), 成为低碳出行的主要选择; 长途公交比例变化不大, 而拼车在高税率下反而增加, 可能因共享成本或社交属性在高税率下仍具吸引力以及模型参数影响导致。

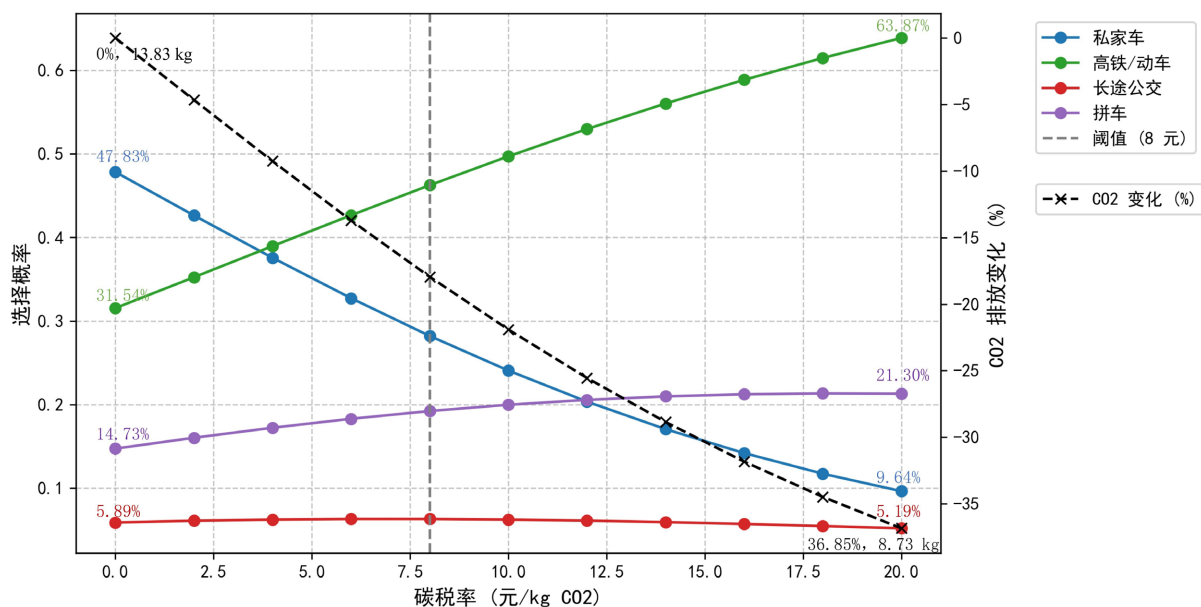


Figure 3. Changes in service structure under carbon constraints

图 3. 碳约束下服务结构变化图

从碳排放变化来看, 基准情境下  $\text{CO}_2$  排放为 13.83 kg, 随碳税升至 20 元降至 8.73 kg, 总体减排 36.85%。减排过程呈现非线性, 在 6~10 元区间分别出现超过 10% 和 20% 的减排阈值, 且在 8 元时低碳方式总体份额首次超过高碳方式。此后减排效应趋缓, 体现边际效益递减。在模拟设定下, 总体上, 8~10 元/kg  $\text{CO}_2$  区间可实现减排效益与通勤可行性的平衡, 是较优的政策调节区间。

需要说明的是, 本文设定的碳税水平(6~20 元/kg  $\text{CO}_2$ )远高于现实碳市场价格, 其意义在于相对刻画政策强度, 相当于未来碳定价、燃油税、限行政策及交通补贴等多重政策组合的效果。单纯依靠现有碳税水平难以实现预期减排, 还需加强心理认知层面的引导, 激发公众低碳出行意图, 以实现更显著的减排效益。

在此基础上, 确定 8 元/kg  $\text{CO}_2$  为临界阈值, 可实现约 6% 减排, 并作为情景模拟的政策基准。叠加跨城快线提速与票价补贴政策后, 结果如图 4 所示: 在碳税 8 元情境下, 私家车份额由 0.4783 降至 0.3998, 高铁/动车升至 0.3657,  $\text{CO}_2$  排放下降 6.44%; 若同时实施快线 + 补贴, 私家车进一步降至 0.2945, 长途公交显著提升至 0.2148, 排放下降幅度扩大至 17.84%。这表明, 提升高碳出行成本或降低低碳方式门槛均能推动方式转移, 但整体减排幅度相对有限。

分组结果进一步揭示了低碳出行意向(LCTI)异质性的关键作用。高 LCTI 个体在基准情境下已表现出较强的低碳偏好, 对政策反应尤为敏感: 在碳税 8 元情境下减排幅度达 29.31%, 在快线 + 补贴下进一步提升至 34.78%。相比之下, 低 LCTI 个体对碳税响应有限(-13.74%), 但在补贴情景下转向幅度较大(-34.01%)。整体平均效应(-6.44%~-17.84%)掩盖了群体间差异, 若忽视意向异质性可能低估政策效益约 20%~30%。

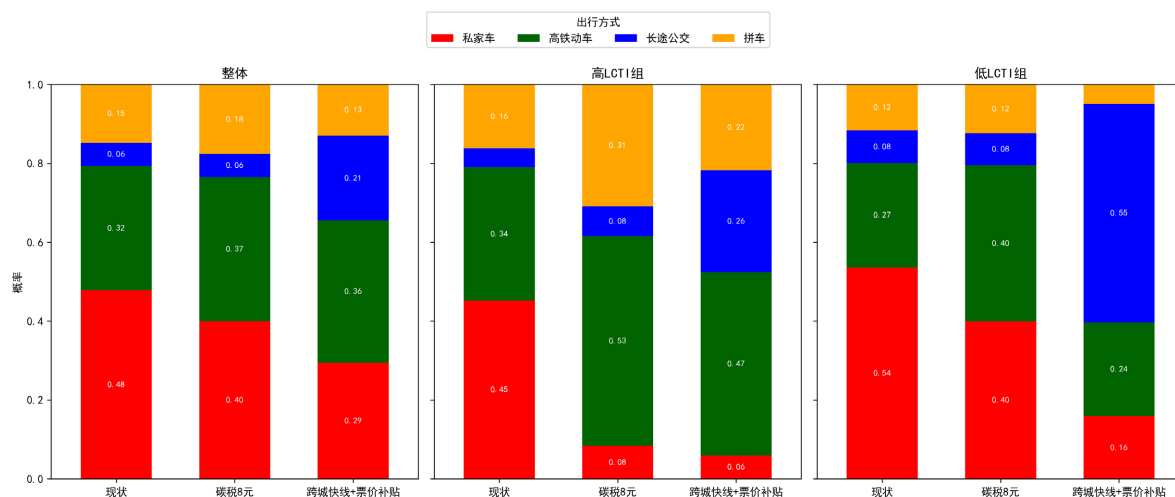


Figure 4. Travel mode probability distribution across different LCTI groups

图 4. 不同 LCTI 组出行方式概率分布

## 5. 结语

在数字平台深度介入出行服务供给的背景下, 跨城通勤已转变为网络化服务消费行为。本文基于上海都市圈实证数据, 构建 SEM-NL 整合模型, 从心理认知与实际选择相结合视角, 系统分析碳约束与平台化政策对用户低碳出行选择的影响机制, 主要结论如下:

(1) 数字平台环境下, 用户低碳服务选择首先源于认知与意图的形成, 而非单纯价格比较。碳约束感知与平台化政策认知是低碳出行意图的直接驱动因素, 服务体验则通过“体验-认知-行为”路径产生最强的综合影响, 环保意识更多发挥间接作用。这表明用户决策嵌入对平台规则、政策信号与服务体验的主观认知。

(2) 社会经济属性对低碳服务选择形成结构性约束,但其作用可被平台机制调节。年龄、收入、车辆拥有量等因素显著抑制低碳服务选择,通勤时间与费用仍是重要约束。但当用户低碳意图较强时,其对价格敏感性的改变可弱化传统成本约束,说明平台可通过影响用户意图间接重塑决策逻辑。

(3) 低碳出行意图在数字平台中发挥“行为放大器”作用。它不直接决定最终选择,而是通过调节价格敏感性与服务偏好间接影响决策:在高效服务中增强用户对价格变化的反应,在公共出行服务中则降低价格壁垒。这解释了单一价格工具效果有限的原因,凸显提升低碳意图的平台治理价值。

(4) 平台化政策工具对用户行为具有显著但高度异质的影响。碳税、补贴与服务提速等工具协同影响服务选择,但不同意图水平的用户响应差异显著:高意图用户更易受约束性政策影响,低意图用户对激励型工具更敏感。忽视这种异质性可能导致政策效果被系统性低估。

综上,数字平台不仅是交易中介,更通过规则设计、信息呈现与激励机制深度参与用户决策。将低碳政策嵌入平台服务体系,通过差异化价格、数字化补贴与信息引导培育用户低碳意图,是推动绿色出行的重要路径。相关结论对平台化服务领域的绿色消费引导与数字治理具有借鉴意义。

## 基金项目

教育部,教育部人文社会科学研究一般项目(24YJCZH147)出行即服务环境下城市居民低碳多模式出行链重构机理研究,2024/10-2027/12。

## 参考文献

- [1] 谢琛,杨良,李岩.基于手机信令数据的深莞惠都市圈跨城通勤特征探究[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会.交通治理与空间重塑——2020年中国城市交通规划年会论文集.深圳:深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司,2020:1945-1955.
- [2] 钮心毅,王焱,刘嘉伟,等.基于跨城功能联系的上海都市圈空间结构研究[J].城市规划学刊,2018(5):80-87.
- [3] 宋顺锋,姚敏,王振坡.我国城市居民通勤特征与通勤方式选择行为研究——基于天津市的微观调查数据[J].城市发展研究,2018,25(7):115-124.
- [4] 胡严艺,蒲政,王沛.基于Logit模型的碳排放收费对居民出行方式选择的研究[J].交通运输工程与信息学报,2018,16(4):57-62.
- [5] 张华歆,苏逸飞,智路平.交通信息下基于出行链的通勤出行方式选择行为[J].上海海事大学学报,2016,37(1):49-54,64.
- [6] Espino, R., Román, C. and De Ortúzar, J.D. (2006) Analysing Demand for Suburban Trips: A Mixed RP/SP Model with Latent Variables and Interaction Effects. *Transportation*, **33**, 241-261. <https://doi.org/10.1007/s11116-005-2299-0>
- [7] Meena, S., Patil, G.R. and Mondal, A. (2019) Understanding Mode Choice Decisions for Shopping Mall Trips in Metro Cities of Developing Countries. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, **64**, 133-146. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.05.002>
- [8] 王殿海,李逸文,蔡正义.收费及奖励策略对通勤出行方式选择的影响分析[J].交通运输系统工程与信息,2024,24(2):1-12.
- [9] 惠晨曦,朱从坤.基于演化博弈的城市公共交通出行激励机制研究[J].物流科技,2024,47(14):47-51.
- [10] Tian, Y., Li, Y. and Sun, J. (2022) Stick or Carrot for Traffic Demand Management? Evidence from Experimental Economics. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **160**, 235-254. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.04.010>
- [11] Kumar, V., Bhat, C.R., Pendyala, R.M., et al. (2016) Impacts of Incentive-Based Intervention on Peak Period Traffic: Experience from the Netherlands. *Transportation Research Record*, **2543**, 166-175.
- [12] 吴文静,熊康贝,杨丽丽,等.基于心理账户的客运走廊公交换乘优惠策略[J].吉林大学学报(工学版),2023,53(11):3113-3121.
- [13] 李亚平,孙帅.奖励策略对大学生交通方式选择行为的影响[J].交通科技与管理,2023,4(24):182-184,161.
- [14] Hair Jr, J.F., Sarstedt, M., Hopkins, L. and Kuppelwieser, V.G. (2014) Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM): An Emerging Tool in Business Research. *European Business Review*, **26**, 106-121. <https://doi.org/10.1108/eb-10-2013-0128>