

油品价格波动对北京市居民出行结构的影响

夏学杰, 胡红

(北京节能环保中心, 北京 101160)

摘要: 通过构建多层感知机(MLP)神经网络模型, 模拟分析国际与国内油价波动对居民出行总量、出行结构及汽油消耗量的非线性影响, 并识别油价传导的阈值效应与时滞特征。研究表明: 1)国际油价每上涨10美元·桶⁻¹, 北京市居民日均出行总量下降22万~30万人次·d⁻¹, 私人汽车出行比例下降0.8~1.2个百分点, 公共交通与非机动交通出行比例相应提升3.5~6.9个百分点, 居民月度汽油消耗量减少0.3万~0.4万t·月⁻¹; 2)油价对居民出行影响存在显著的双重阈值与非线性突变特征, 国际原油价格阈值为80美元·桶⁻¹, 国内92#汽油价格阈值为9.0元·L⁻¹, 突破阈值后居民出行总量和结构调整呈加速趋势; 3)在时滞效应方面, 国际油价突破阈值后约10个工作日完成国内终端成品油价格传导, 再经1~2个月才会引发居民出行总量和结构同步突变。结合中、高风险情景模拟结果, 从建立交通保障联动响应机制, 强化绿色出行服务供给, 推广新能源汽车应用, 完善交通、能源与经济协同治理4个方面提出政策建议。

关键词: 国际原油价格; 国内汽油价格; 居民出行结构; 神经网络; 阈值效应; 时滞效应; 北京市

The Impact of Fluctuations in Fuel Prices on Urban Residents' Travel Patterns in Beijing

Xia Xuejie, Hu Hong

(Beijing Energy Conservation and Environmental Protection Center, Beijing 101160, China)

Abstract: By constructing a Multi-Layer Perceptron (MLP) neural network model, this paper simulates and analyzes the nonlinear effects of fluctuations in international and domestic oil prices on total residential travel volume, travel mode share, and gasoline consumption, and identifies the threshold effects and time lag characteristics of oil price transmission. The results indicate that: 1) For every \$10 per barrel increase in international oil prices, the average daily total travel volume of Beijing residents decreases by 220,000 to 300,000 trips, the proportion of private car travel decreases by 0.8 to 1.2 percentage points, the proportions of public transportation and non-motorized travel increase by 3.5 to 6.9 percentage points, and monthly gasoline consumption by residents decreases by 3,000~4,000 tons; 2) The impact of oil prices on residents' travel exhibits significant dual-threshold and nonlinear abrupt change characteristics. The threshold for international crude oil prices is \$80 per barrel, while the threshold for domestic 92-octane gasoline prices is 9.0 yuan per liter. Once these thresholds are exceeded, the adjustment in total travel volume and structure accelerates; 3) Regarding time lag effects, it takes approximately 10 working days for domestic retail refined oil prices to adjust after international oil prices exceed the threshold, and another 1~2 months before this adjustment triggers a simultaneous abrupt change in the total volume and structure of residential travel. Based on the simulation results of medium- and high-risk scenarios, policy recommendations are proposed in four areas: establishing a coordinated response mechanism for transportation security, strengthening the supply of green travel services, promoting the application of new energy vehicles, and improving the coordinated governance of transportation, energy, and the economy.

Keywords: international crude oil prices; domestic gasoline prices; residential travel mode share; neural networks; threshold effect; time lag effect; Beijing

收稿日期: 2026-03-19

作者简介: 夏学杰(1979—), 男, 湖南常德人, 博士, 副主任, 研究方向为能源经济政策与管理, 电子邮箱 xiaxuejie@sina.com。

通信作者: 胡红(1971—), 女, 湖北十堰人, 博士, 教授级高级工程师, 研究方向为低碳交通规划、能源管理, 电子邮箱 huhong1971@qq.com。

引用格式：夏学杰，胡红. 油品价格波动对北京市居民出行结构的影响[J]. 城市交通，2026，24(3): 1-6.

Xia Xuejie, Hu Hong. The impact of fluctuations in fuel prices on urban residents' travel patterns in Beijing [J]. Urban Transport of China, 2026, 24(3): 1-6.

0 引言

近年来，中东地区地缘政治冲突加剧，国际原油市场供给不确定性显著提升。2026年3月以来，美伊以冲突进一步推升国际原油价格的上行风险。由原油加工提炼的汽油价格作为重要的能源经济信号，直接作用于居民小汽车出行成本，进而深刻影响私人汽车的使用强度与出行方式选择，带来出行总量的变化。北京市作为超大城市，机动车保有量大、居民出行机动化程度高，交通能耗与运行管控压力突出。在“双碳”目标与交通精细化治理背景下，科学识别油价波动对居民出行结构的传导路径与影响强度，对于预判出行总量变化、优化交通政策、保障城市能源安全具有重要现实意义。

国际油价波动对居民出行方式、交通能耗及低碳转型的影响，已成为城市交通领域的研究热点。早期研究普遍采用非集计模型和需求弹性模型^[1-3]，近年来，部分研究采用混合Logit模型、面板分析及断点回归等方法^[4-6]，分析油价对出行方式、行驶里程及汽油消费的影响。此类方法理论基础成熟、结果易于解释，但在刻画非线性关系、阈值突变、滞后传导效应及多因素交互作用方面存在明显局限，难以还原真实且复杂的出行决策机制。

神经网络模型虽然被视为“黑箱”模型，但随着机器学习技术在交通领域的快速应用，其凭借强大的非线性拟合与高维特征学习能力，被应用于出行行为预测、交通能耗模拟及单一价格冲击效应识别等研究^[5-12]。多层感知机(Multi-Layer Perceptron, MLP)神经网络、反向传播(Back Propagation, BP)神经网络、长短期记忆网络(Long Short-Term Memory, LSTM)等模型，能够在不预设函数形式的条件下学习变量间的复杂映射关系，在处理非平稳、高噪声、多维度的出行与能源价格数据时表现出更高的拟合精度与泛化能力^[13-14]。在油价冲击与交通系统响应的研究中，这些模型更适合捕捉油价上涨对居民出行方式选择所产生的阈值效应、滞后调整过程与非线性响应特征，能够有效识别传统模型难以发现的关键阈值与

突变特征，而不仅限于因果识别。

在变量选取方面，国际原油价格与国内汽油价格之间存在上下游传导关系，并非完全平行的独立变量。但受国内成品油定价周期、政策调控、税费及炼化成本影响，二者波动并不同步，分别蕴含长期趋势预期与短期即期成本两类信息。本文采用MLP神经网络模型，无须满足传统计量模型对自变量严格独立的假设条件，可同时纳入这两项价格变量并识别各自的贡献效应，具备理论与实证合理性。为此，本文以北京市为研究对象，采用MLP神经网络模型模拟国际油价波动对居民出行总量、出行结构与汽油消耗量的影响，识别关键阈值与传导时滞规律，为城市交通低碳发展、能源风险应对及精细化治理提供决策参考。

1 研究数据与变量设计

研究时段为2023年1月—2026年3月，共包含39组月度数据，分为3个阶段：2023年为后疫情出行恢复阶段；2024—2025年为交通运行常态监测阶段；2026年1—3月为地缘冲突高油价冲击阶段。研究设置7个输入变量，分别为西得克萨斯中间基(West Texas Intermediate, WTI)原油价格、92#汽油价格、机动车保有量、私人燃油汽车比例，以及月份、季度及节假日虚拟变量；6个输出变量，分别为居民日均出行总量、私人汽车出行比例、城市轨道交通出行比例、公共汽电车出行比例、非机动车(含三轮车、自行车及步行)出行比例及居民月度汽油消耗量。变量描述性统计见表1。各指标来源如下。

1) 油品价格：WTI原油月度均价来自国际能源署(International Energy Agency, IEA)月度报告；92#汽油月度均价来自国家发展改革委调价公示，采用城区终端零售价格口径。

2) 出行数据：居民日均出行总量、各交通方式出行比例均来源于北京市交通运行监测调度中心月度运行报告及年度交通发展白皮书，采用市域常住居民全方式出行监测口径。

3) 车辆数据：机动车保有量、私人燃油汽车比例来自《北京市统计年鉴》及交管部门统计公报，月度数据采用平滑插值法补齐。

4) 汽油消耗量：官方无月度发布数据，以年度交通燃油消费量为基数，结合出行总量与季节波动进行拆分估算，居民月度汽油消耗量为估算值。

5) 虚拟变量：月份、季度及节假日均按国家法定日历统一赋值。

2 MLP神经网络模型构建

2.1 模型结构

本文采用MLP神经网络模型，该模型能够较好捕捉非线性与非平稳关系，适合分析油价、居民出行结构与汽油消耗量之间复杂的动态影响机制。国际油价—国内汽油价格—居民出行的MLP神经网络结构为：输入层包含7个变量；隐藏层1包含128个神经元，隐藏层2包含64个神经元，隐藏层3包含32个神经元；输出层包含6个变量。隐藏层采用ReLU激活函数并设置Dropout(0.2)正则化；输出层采用Linear线性激活函数，同时对出行总量、出行结构及汽油消耗量指标进行拟合(见表2)。

2.2 模型训练与精度检验

模型以2023年1月—2025年12月数据为训练集，以2026年1—3月数据为测试集，采用Adam优化器，将均方误差作为损失函数。结果显示，各输出变量的平均绝对百分比误差(MAPE)均低于1.5%，模型拟合效果优秀，满足情景模拟要求(见表3)。

2.3 输入变量特征重要性

采用置换测试法计算各输入变量的特征重要性，结果显示：92#汽油价格(0.42)与WTI原油价格(0.35)是影响居民出行的两个最核心变量，二者合计贡献度达0.77(占总特征重要性的77%)，说明油价是驱动居民出行结构变化的关键因素(见表4)。

3 模拟结果与分析

3.1 情景模拟设计

以2026年3月9日北京市92#汽油调整后的价格7.64元·L⁻¹为基准，设置以下3种情景进行模拟。

1) 基准情景：92#汽油价格7.64元·L⁻¹。

2) 中等风险情景：92#汽油价格上涨30%，达到9.93元·L⁻¹。

3) 高风险情景：92#汽油价格上涨60%，达到12.22元·L⁻¹。

3.2 模拟结果

模拟结果如表5所示。

1) 在基准情景下(92#汽油价格保持7.64元·L⁻¹)，模拟结果与现实情况接近：私人汽

表1 变量描述性统计

Tab.1 Descriptive statistics of variables

变量符号	变量名称	均值	标准差	最小值	最大值
X1	WTI原油价格/(美元·桶 ⁻¹)	74.48	12.36	57.30	97.20
X2	92#汽油价格/(元·L ⁻¹)	7.52	0.42	6.80	8.20
X3	机动车保有量/万辆	782.60	23.40	758.90	815.00
X4	私人燃油汽车比例/%	89.60	2.10	86.20	92.50
Y1	居民日均出行总量/(万人次·d ⁻¹)	2 685.00	86.00	2 512.00	2 896.00
Y2	私人汽车出行比例/%	14.90	0.90	13.50	15.90
Y3	城市轨道交通出行比例/%	36.30	1.30	34.80	38.20
Y4	公共汽车出行比例/%	10.00	0.40	9.60	10.50
Y5	非机动车交通(含三轮车、自行车及步行)出行比例/%	19.70	2.20	15.70	21.80
Y6	居民月度汽油消耗量/(万t·月 ⁻¹)	33.20	1.80	30.50	35.80

表2 MLP神经网络模型结构参数

Tab.2 Structural parameters of the MLP neural network model

层次	神经元及变量数量	激活函数	正则化
输入层	7		
隐藏层1	128	ReLU	Dropout(0.2)
隐藏层2	64	ReLU	Dropout(0.2)
隐藏层3	32	ReLU	
输出层	6	Linear	

表3 MLP神经网络模型测试集预测精度指标

Tab.3 Prediction accuracy metrics of the MLP neural network model on the test set

输出变量	平均绝对误差(MAE)	均方误差(MSE)	平均绝对百分比误差(MAPE)
居民日均出行总量	0.29万人次·d ⁻¹	0.110	1.38%
私人汽车出行比例	0.21%	0.045	1.45%
城市轨道交通出行比例	0.18%	0.032	0.50%
公共汽车出行比例	0.12%	0.015	1.19%
非机动车出行比例	0.25%	0.063	1.26%
居民月度汽油消耗量	0.32万t·月 ⁻¹	0.140	0.97%

注：MSE的单位为各输出变量单位的平方，所有输出变量的拟合效果均为优秀。

车出行比例为14.8%，绿色出行比例为68.6%，居民月度汽油消耗量处于正常区间。

2) 在中等风险情景下，国际原油价格涨幅突破阈值，上涨效应传导至国内成品油价格。92#汽油价格上涨30%，达到9.93元·L⁻¹，私人汽车出行比例有所下降(降至约13.2%)，绿色出行比例提升至71.1%，居民月度汽油消耗量较基准值下降8.2%。

3) 在高风险情景下，国际原油价格上涨，带动国内成品油价格大幅上涨至12.22元·L⁻¹，涨幅达60%。私人汽车使用受到显著抑制，出行比例降至11.9%，绿色出行比例提升至73.1%，居民月度汽油消耗量较基准值下降15.5%，居民出行结构显著低碳化。

3.3 边际影响

模拟结果显示，国际油价每上涨10美元·桶⁻¹，居民日均出行总量下降22万~30万人次·d⁻¹，北京市私人汽车出行比例下降0.8~1.2个百分点，公共交通与非机动交通出行比例相应提升3.5~6.9个百分点，居民月度汽油消耗量减少0.3万~0.4万t·月⁻¹。油价上行既抑制私人汽车出行，也推动居民出行结构的

替代性变化。

3.4 国际油价与国内汽油价格关联性

1) 双重阈值效应。

模拟结果表明，油价对居民出行的影响存在显著的双重阈值与非线性突变特征。国际原油价格阈值为80美元·桶⁻¹。依据中国成品油定价机制，当国际油价高于80美元·桶⁻¹时，国内成品油价格调整的加工利润率开始扣减，因此80美元·桶⁻¹是政策传导的关键拐点。从历史实际价格看，当国际油价超过阈值时，国内92#汽油均价通常为8.5~8.9元·L⁻¹，即使在高油价时期，全国均价也未突破9.0元·L⁻¹，仅部分地区曾短暂超过该水平。

国内汽油价格阈值为9.0元·L⁻¹。在阈值以内，居民出行总量与结构调整平缓；突破阈值后，居民出行总量收缩加快，出行结构向公共交通、非机动交通加速转变，呈现显著的非线性突变特征。

2) 传导时滞效应。

国际油价突破80美元·桶⁻¹后，约10个工作日传导至国内终端汽油价格；若油价持续处于高位，居民出行行为将在1~2个月内完成结构性突变，私人汽车使用明显下降，绿色出行比例显著提升。

表4 MLP神经网络模型输入变量特征重要性排序

Tab.4 Ranking of feature importance for input variables in the MLP neural network model

输入变量	特征重要性
92#汽油价格	0.42
WTI原油价格	0.35
私人燃油汽车比例	0.12
机动车保有量	0.06
月份及季度	0.03
节假日	0.02

注：月份与季度虚拟变量合并计算特征重要性。

4 研究结论

国际、国内油价波动对北京市居民出行结构具有显著、非线性、滞后的影响。国内汽油价格上涨与居民绿色出行决策呈正相关性，油价上涨在降低私人汽车出行比例、提升绿色出行比例的同时，会抑制居民整体出行规模，减少月度汽油消耗量。

国内汽油价格与国际原油价格对居民出行选择存在双阈值影响，是影响出行决策的

表5 不同情景下北京市居民出行总量、出行结构与汽油消耗量模拟结果

Tab.5 Simulation results for total residential travel volume, travel mode share, and gasoline consumption in Beijing under different scenarios

情景	居民日均出行总量/(万人次·d ⁻¹)	私人汽车出行比例/%	城市轨道交通出行比例/%	公共汽电车出行比例/%	非机动交通出行比例/%	居民月度汽油消耗量/(万t·月 ⁻¹)	
基准情景	2 685	14.8	37.1	10.2	21.3	33.0	
中等风险情景	模拟结果	2 612	13.2	38.4	10.6	22.1	30.3
	变化率/%	-2.7	-10.8	3.5	3.9	3.8	-8.2
高风险情景	模拟结果	2 535	11.9	39.5	10.9	22.7	27.9
	变化率/%	-5.6	-19.6	6.5	6.9	6.6	-15.5

最核心变量，对居民出行总量、出行结构与汽油消耗量的影响力显著高于机动车保有量、季节及节假日等因素。国际原油价格对居民出行显著影响的阈值为80美元·桶⁻¹，国内92#汽油的价格阈值为9.0元·L⁻¹，突破阈值后居民出行总量收缩与出行结构调整均呈现加速变化特征。

国际原油价格上涨对国内成品油价格及居民出行具有时滞效应。国际油价突破阈值后，约10个工作日传导至国内终端成品油价格，再经1~2个月引发居民出行总量与结构发生同步改变。

油价突破阈值在短期内会增加居民与企业成本、推高物价、抑制消费，但客观上抑制私人汽车出行，降低汽油消耗量，调整居民出行结构，加速城市交通低碳化进程。

5 政策建议

1) 建立国际油价—国内汽油价格—居民出行—交通保障联动响应机制。将油价波动纳入城市交通常态化监测，依据油价—出行弹性关系提前预判客流量变化，动态优化城市轨道交通、公共汽电车运力配置，重点强化高峰时段和重点片区接驳保障，实施精准调控，稳步提升公共交通运行保障能力。

2) 持续强化绿色出行服务供给。优化公共交通网络衔接与步行、自行车交通设施，规范非机动车交通秩序，引导短距离出行优先采用绿色交通方式，减轻油价上涨对居民生活的影响，适应居民出行结构的变化。

3) 借势加快推广新能源汽车应用。完善居住小区、产业园区、交通枢纽电动汽车充电桩建设，提高充电便捷度，加大新能源汽车成本优势宣传力度，加大居民燃油汽车置换为新能源汽车的政策补贴力度，满足居民用车成本敏感下的车辆选择转向。

4) 持续完善交通、能源及经济协同治理调控。统筹成品油供应、价格调控与交通需求管理，定期更新出行响应参数，提升政策精准性和前瞻性。在油价临近阈值区间时，提前制定交通运行保障预案，平抑油价波动带来的居民出行总量与结构突变，维持城市交通运行稳定。

6 结束语

本文在模型构建和模拟分析中未纳入居

民收入、拥堵收费、新能源汽车补贴等微观因素。未来可结合微观调查数据与更精细的能源统计数据，构建微观行为与宏观系统耦合模型，进一步提升模型的解释能力与政策应用价值。

参考文献：

References:

[1] 胡列格, 魏文彬, 杨俊慧, 等. 高油价对居民出行方式选择的影响分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2011, 8(4): 90-94.

Hu Liege, Wei Wenbin, Yang Junhui, et al. Impact of high gasoline price on resident travel behavior[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2011, 8(4): 90-94.

[2] 王京元, 韩艳, 赵建军. 燃油价格影响下的居民出行选择行为特征分析及建模[J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13(4): 171-175.

Wang Jingyuan, Han Yan, Zhao Jianjun. Analysis and model of travel choice behavior with influence of fuel prices[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2013, 13(4): 171-175.

[3] 陈伯阳, 蒋明清, 四兵锋, 等. 多方式竞争下城市公交需求价格弹性实证分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2016, 16(4): 241-247.

Chen Boyang, Jiang Mingqing, Si Bingfeng, et al. Empirical analysis of demand-price elasticity for urban public transit in multimodal transport system[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2016, 16(4): 241-247.

[4] 吴江玲, 张馨月, 任丽丽. 汽油价格上调影响下出行者出行方式选择[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(35): 15252-15258.

Wu Jiangling, Zhang Xinyue, Ren Lili. The influence of gasoline price hike on travel mode choice[J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(35): 15252-15258.

[5] 赵小磊, 毛雨濛, 李雪梅. 能源价格与新能源汽车消费: 基于消费者预期视角[J]. 软科学, 2025, 39(5): 136-144.

Zhao Xiaolei, Mao Yumeng, Li Xuemei. Energy prices and new energy vehicle consumption: from consumer expectation perspective [J]. Soft Science, 2025, 39(5): 136-144.

[6] 王双英, 李宝驹, 曹梓珞. 居民燃油消费差

- 异性与空间相关性研究：基于燃油价格、汽车保有量和经济增长因素的影响分析[J]. 价格理论与实践, 2018(10): 57-60.
- Wang Shuangying, Li Baoju, Cao Ziluo. Research on the difference and spatial correlation of resident's fuel consumption: analysis on the influence of fuel price, car ownership and economic growth factors[J]. Price: Theory & Practice, 2018(10): 57-60.
- [7] 王江波, 连芝锐, 冯涛, 等. 基于机器学习的时空出行选择行为研究综述与展望[J]. 地理科学进展, 2024, 43(8): 1649-1665.
- Wang Jiangbo, Lian Zhirui, Feng Tao, et al. A review and outlook of machine learning-based travel choice behavior research[J]. Progress in Geography, 2024, 43(8): 1649-1665.
- [8] 李新春. 基于时空大数据与图神经网络的城市轨道交通早晚高峰客流预测及疏导策略优化[J]. 人民公交, 2026(6): 166-168.
- [9] 张悟移, 陈成. 基于深度学习的交通运输业能耗预测：以“一带一路”主要经济体为例[J]. 数学的实践与认识, 2021, 51(6): 74-86.
- Zhang Wuyi, Chen Cheng. Forecasting of energy consumption in the transportation sector based on deep learning: taking "Belt and Road" major economies as an example[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2021, 51(6): 74-86.
- [10] 王金鑫, 陈红, 邹亮, 等. 基于深度学习的江苏省交通运输业能耗预测研究[J]. 海峡科技与产业, 2022, 35(3): 38-41.
- [11] 王雨斌, 邱瑞祥, 李梦祎. 数据驱动模型进行能源价格预测的研究回顾与未来展望[J]. 科技和产业, 2025, 25(9): 16-23.
- Wang Yuxiao, Qiu Ruixiang, Li Mengyi. Research review and future prospect of data-driven model for energy price forecasting[J]. Science Technology and Industry, 2025, 25(9): 16-23.
- [12] 张省. 我国碳排放权交易价格组合预测研究：基于二次分解和机器学习方法的分析[J]. 价格理论与实践, 2023(9): 142-145.
- Zhang Xing. Carbon emission rights trading price combined forecasting in China: analysis based on quadratic decomposition and machine learning[J]. Price: Theory & Practice, 2023(9): 142-145.
- [13] 李凌敏, 侯梦然, 陈琨, 等. 深度学习的可解释性研究综述[J]. 计算机应用, 2022, 42(12): 3639-3650.
- Li Lingmin, Hou Mengran, Chen Kun, et al. Survey on interpretability research of deep learning[J]. Journal of Computer Applications, 2022, 42(12): 3639-3650.
- [14] Su Yu, Feng Xuan. Machine learning approaches to predicting energy price correlation: from a responsible AI perspective[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2026, 225: 124515.

(上接第79页)

- [3] 陶凤, 冉黎黎. MaaS2.0北京研究小汽车停驶纳入碳激励[EB/OL]. (2022-09-05)[2025-08-06]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1743061251760427526&wfr=spider&for=pc>.
- [4] 上海市人民政府. 上海市人民政府关于印发《上海市综合交通发展“十四五”规划》的通知[A/OL]. (2021-06-29)[2025-08-06]. <https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20210721/ca22dbbbafb64f719f8b9350e151d879.html>.
- [5] 郑慧梓. 春运期间日均500万人次进出城!“枢纽广州”聚人气、焕活力[EB/OL]. (2025-03-14)[2025-08-06]. <https://www.nf-news.com/content/voAYGYZ0oR.html>.
- [6] 张晓春, 孙超, 邵源, 等. 新时期中国智能交通发展战略思考[J]. 城市交通, 2023, 21(1): 1-6.
- Zhang Xiaochun, Sun Chao, Shao Yuan, et al. Reflections on the strategies for intelligent transportation development in China in the new era[J]. Urban transport of China, 2023, 21(1): 1-6.
- [7] 孙超, 邵源, 韩广广. 从先行先试到先行示范：深圳市智慧交通发展创新与实践[J]. 城市交通, 2023, 21(4): 1-7.
- Sun Chao, Shao Yuan, Han Guangguang. From pilot testing to pilot demonstration: innovation and practice of intelligent transportation development in Shenzhen[J]. Urban transport of China, 2023, 21(4): 1-7.