

基于P + R出行信息的电动汽车用户换乘行为影响因素研究

李凯旋, 干宏程, 王馨玉, 高吉

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2025年3月23日; 录用日期: 2025年4月16日; 发布日期: 2025年4月24日

摘要

现有研究多侧重于对整体小汽车用户群体的停车换乘(Park and Ride, P + R)选择行为分析, 缺乏对电动汽车用户群体的专门探讨。考虑到电动汽车用户在充电需求等方面的特殊性, 深入研究该用户群体的P + R选择行为对优化城市交通管理具有重要意义。研究在手机出行APP整合P + R出行信息的基础上, 通过意向调查法收集了近一千条有关电动汽车用户的P + R选择意向、个体属性等数据, 并运用混合选择模型进行量化分析。结果显示, 使用过P + R、自驾延误时间增加、P + R停车费用降低、P + R停车场到地铁站的步行时间缩短以及存在充电桩空位时, 电动汽车用户选择P + R的意愿显著提升。基于此, 提出P + R停车场增加充电桩数量、优化停车场布局、缩短步行时间、实施电动汽车用户停车费用减免等政策, 以促进P + R设施在电动汽车用户中的普及和利用。

关键词

城市交通, 多模式出行信息, 停车换乘, 电动汽车, 混合选择模型

Analysis of the Impact of P + R Travel Information on Electric Vehicle Users' P + R Choice Behavior

Kaixuan Li, Hongcheng Gan, Xinyu Wang, Ji Gao

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

Received: Mar. 23rd, 2025; accepted: Apr. 16th, 2025; published: Apr. 24th, 2025

Abstract

Most existing literature has largely focused on analyzing the Park and Ride (P + R) choice behavior

文章引用: 李凯旋, 干宏程, 王馨玉, 高吉. 基于P + R出行信息的电动汽车用户换乘行为影响因素研究[J]. 建模与仿真, 2025, 14(4): 791-798. DOI: 10.12677/mos.2025.144330

of all car user group. However, there is a lack of specific exploration of the electric vehicle (EV) user group. Considering the particularity of EV users in terms of charging needs and other aspects, in-depth research on the P + R choice behavior of this user group is of great significance for optimizing urban traffic management. Based on the integration of P + R travel information in the mobile travel APP, this study collected nearly a thousand pieces of data on the P + R choice intentions and individual attributes of EV users through the intention surveys. And it used the hybrid choice model for quantitative analysis. The results indicate that when EV users have used P + R, when the delay time of self-driving increases, when the P + R parking fee decreases, when the walking time from the P + R parking lot to the subway station shortens, and when there are empty charging piles, the willingness of EV users to choose P + R significantly increases. Based on this, policies such as increasing the number of charging piles in P + R parking lots, optimizing the parking lot layout, shortening the walking time, and implementing parking fee exemptions for EV users are proposed. These policies aim to promote the popularization and utilization of P + R facilities among EV users.

Keywords

Urban Transportation, Multimodal Travel Information, Park and Ride, Electric Vehicle, Hybrid Choice Model

Copyright © 2025 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

随着机动车保有量的持续增长,城市交通拥堵问题愈加严峻,已成为制约城市可持续发展的一大障碍。停车换乘(Park and Ride, P + R)服务作为缓解交通拥堵、推动绿色出行的一种方式,其重要性愈发显著。近年来,国家相继出台《关于推动城市停车设施发展的意见》[1]和《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》[2]等政策,明确要求加强 P + R 设施与公共交通系统的深度融合,构建以公共交通为主导的多元化出行模式。

在 P + R 选择行为研究领域,早期研究主要聚焦于个体属性、P + R 设施状况和态度因素。例如,Agata [3]运用 logit 模型揭示年龄、驾驶经验及日常出行频次对 P + R 选择的显著影响;陈佩虹[4]指出学历、职业及家庭月收入等因素与居民 P + R 偏好相关。后续研究不断拓展,从交通成本与时间因素[5]-[7],到出行者态度、认知等潜变量属性[8]。其中朱震军发现换乘便捷度增加时出行者更倾向于 P + R [9],卢俊沛发现舒适度价值高的出行者更加倾向于小汽车出行,而时间价值低的出行者更加倾向于选择 P + R 出行[10]。然而,既有研究普遍忽视网络信息对 P + R 选择行为的影响。近年来,有学者发现智能手机提供的实时多模式出行信息,如导航软件的 P + R 建议,对 P + R 选择具有积极推动作用[11]-[13]。Huang 通过构建混合选择模型,发现社交网络上有更多关于 P + R 的正面信息时会提高使用 P + R 的可能性[14]。

与此同时,新能源汽车行业迅猛发展,我国电动汽车保有量呈爆发式增长。截至 2024 年底,我国电动汽车保有量突破 2200 万辆,新注册登记车辆同比增长超 50%。电动汽车用户在充电需求等方面的独特性,使其出行行为与传统燃油车用户存在显著差异。但现有 P + R 设施布局和服务体系多基于传统燃油车设计,难以满足电动汽车用户的特殊需求。

当前,针对小汽车用户的 P + R 选择行为研究已相对成熟,而专门针对电动汽车用户的研究尚显匮乏,尤其在充电设施等关键影响因素的考虑上存在不足。此外,主流出行 APP 如“百度地图”“高德地图”普遍缺乏 P + R 路线规划功能,严重制约 P + R 服务的推广。鉴于手机 APP 在信息传播方面的高效

性, 本研究旨在探讨手机出行 APP 集成 P + R 路线规划功能后, 影响电动汽车通勤用户选择 P + R 方式的 因素。通过意向调查收集相关数据, 构建混合选择模型, 量化分析各影响因素。该研究不仅有望填补 电动汽车用户 P + R 行为研究的空白, 揭示信息干预对 P + R 行为的作用机制, 还能引导更多电动汽车及 潜在小汽车用户采用 P + R 出行方式, 促进 P + R 服务的广泛应用。

2. P + R 行为调查及样本分析

2.1. P + R 行为调查

为调查手机出行 APP 集成 P + R 路线规划功能后电动汽车通勤用户对 P + R 方式选择的情况, 设计 了一个假想的手机出行 APP 界面用于意向调查, 集成了自驾路线和 P + R 路线的相关信息(如图 1 所示)。 受访者可以通过 APP 查看以下内容: 自驾路线的总出行时间(包括延误时间)、P + R 路线的总出行时间 (从起点开车到 P + R 停车场的的时间 + 从 P + R 停车场到地铁站的步行时间 + 乘坐地铁的时间 + 从地 铁站到目的地的步行时间)、出行总费用(包含停车费用和乘车费用)以及 P + R 停车场充电桩的使用情况。 研究将自驾延误时间、P + R 停车场到地铁站的步行时间、P + R 停车费用和 P + R 停车场充电桩的使用 情况四个变量作为控制变量, 设计出 9 个不同的实验情景, 调查在不同情景下电动汽车通勤用户的 P + R 选择行为及决策过程。

调查问卷包括三部分: 个人属性(如性别、年龄、学历、月收入、驾龄以及是否使用过 P + R)、态度 量表和意向实验。调查于 2021 年 12 月在上海市进行, 共收集到 115 份问卷, 剔除无效问卷后, 最终获 得有效问卷 101 份, 共计 909 条有效数据(101 × 9)。



Figure 1. Example of mobile app integrating self-driving and P + R information

图 1. 手机出行 APP 整合自驾和 P + R 信息示例

2.2. 样本分析

1) 个体属性分析

电动汽车拥有者的个体属性分布如下: 性别比例为男性 59%、女性 41%; 年龄主要集中在 18~30 岁, 占 85%; 学历以高学历为主, 其中专科/本科占 53%, 硕士及以上占 38%; 个人月收入方面, 10,000 元以 下占 93%; 在驾龄方面, 近 80% 的受访者驾龄不足一年; 其中 84% 的受访者从未使用过 P + R 方式。

2) 量表信效度检验

本文通过 Cronbach' α 信度系数法验证问卷中潜变量设计的合理性, 利用 SPSS 软件对回收的数据进行信度分析。其中环保态度、电动汽车认知、电动汽车再次购买意愿三个潜变量的 Cronbach' α 系数均大于 0.6, 表明数据信度可接受。在效度检验中, KMO 的值为 0.788, 大于 0.6, Bartlett 球形检验自由度 36, 卡方值 774.340, 显著性 0.000, 通过了 5% 的显著性检验。Fornell 和 Larcker [15] 认为 AVE 值 0.5, 但可以接受 0.4。如果 AVE 值小于 0.5, 但是 CR 值高于 0.6, 则该结构的收敛效度仍然足够。本文潜变量的 CR 值均高于 0.6, AVE 值大于 0.4, 说明量表的聚合效度达标。

3. 电动汽车用户 P + R 选择模型建立

该模型将心理潜变量(如态度)与离散选择模型相结合[16], 将潜变量的影响纳入个体出行选择的决策框架中。同时考虑显变量和潜在心理因素, 混合选择模型能够更准确地刻画用户的出行行为和偏好, 具有更高的解释力和预测能力。

混合选择模型包括两部分: 离散选择模型和潜变量模型。离散选择模型采用基于效用最大化理论的二元 logit 模型, 用于分析电动汽车用户在“P+R”或“自驾”两种出行方式之间的决策过程。对于每位出行者 n ($n = 1, \dots, 101$), 其选择第 i 种出行方式的概率可以表示为:

$$P_n(i) = P(U_{ni} \geq U_{nj}) \forall j \in C_n, \forall i \neq j \quad (1)$$

式中: U_{ni} 为出行者 n 选择出行方式 i 的效用。效用函数 U 由不可观测的误差项(ε)与可以观测的固定项(V)组成, 且假设两者之间存在呈线性关系。出行者 n 选择交通方式 i 的效用函数为:

$$U_{ni} = V_{ni} + \varepsilon_{ni} \quad (2)$$

若所有的误差项 ε_n 均服从参数 $\mu = 0$ 、 $\beta = 1$ 的 Gumbel 分布, μ 是位置参数, β 是尺度参数, 且所有的误差项之间均相互独立, 由此便可以推导出二元 logit 模型:

$$P_{ni} = \frac{\exp(V_{ni})}{\sum_{j=1}^J \exp(V_{nj})} \quad (3)$$

潜变量模型由测量方程和结构方程组成。测量方程表示潜变量与可观测指标变量之间的关系, 即:

$$Y = \alpha Z + \delta \quad (4)$$

式中: Y 为可观测的指标变量; α 为 Z 对应的系数, 也叫 Y 对 Z 的因子荷载; Z 为潜变量; δ 为 Y 的测量误差。

结构方程用来表征解释变量(显变量)与潜变量之间以及不同潜变量之间的关系。文中仅考虑解释变量与潜变量之间的关系, 即:

$$Z = \beta X + \xi \quad (5)$$

式中: X 为解释变量; β 为 X 相应的系数, 即路径系数; ξ 为误差项。

为提高模型的精确度, 对变量进行了列联表独立性检验和共线性检验, 以筛选合适的变量。最终纳入混合选择模型的变量及变量编码方式为: 1) 二分类变量: 年龄{0 = <30 岁, 1 = \geq 30 岁}, 学历{0 = 专科/本科以下, 1 = 专科/本科及以上}, 月收入{0 = <1 万元, 1 = \geq 1 万元}, 是否使用过 P + R{0 = 否, 1 = 是}, P + R 停车场充电桩使用情况{0 = 使用已满, 1 = 使用未满}, 是否选择 P + R{0 = 否; 1 = 是}。2) 连续型变量: 自驾延误时间{15 min; 25 min; 35 min}, P + R 停车场费用{0 元; 5 元; 10 元}, P + R 停车场到地铁站步行时间{3 min; 5 min; 7 min}, 环保态度、电动汽车认知、电动汽车再次购买意愿{1 = 非常不赞同; 2 = 不赞同; 3 = 不确定; 4 = 赞同; 5 = 非常赞同}。

使用 Mplus 软件对包含环保态度、电动汽车认知和电动汽车再次购买意愿三个潜变量的混合选择模型进行了参数估计。然而,分析结果显示,环保态度和电动汽车认知这两个态度潜变量对出行方式选择的影响并未达到显著性水平(基于 p 值 < 0.05 的统计标准)。因此,最终构建的混合选择模型仅纳入了电动汽车再次购买意愿这一潜变量,具体模型框架如图 2 所示。其中,电动汽车再次购买意愿能够反映用户未来使用电动汽车 P + R 的可能性,通过分析再次购买意愿,可以识别影响用户满意度的因素,也可作为评估政策效果的指标,例如补贴、充电设施建设是否提高了用户的使用意愿。

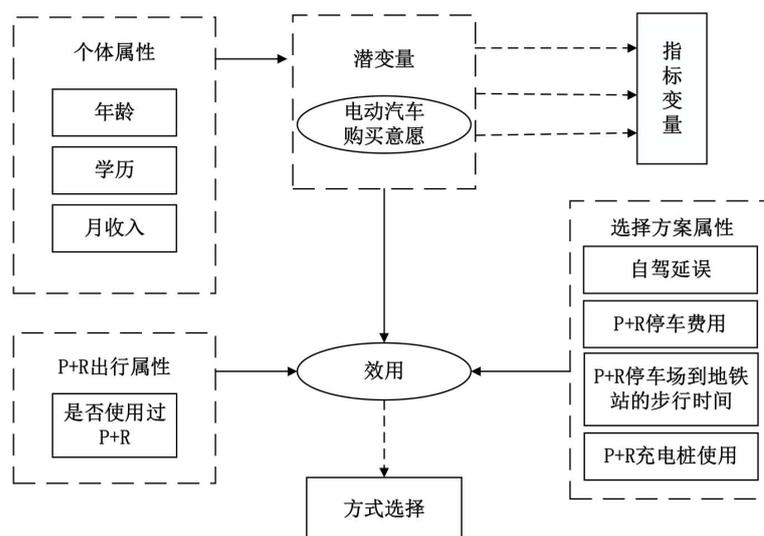


Figure 2. Hybrid choice model framework
图 2. 混合选择模型框架

4. 模型结果分析与讨论

4.1. 结果分析

在潜变量模型中,将受访者的年龄、学历和月收入作为解释变量,分析它们对电动汽车再次购买意愿的具体影响。参数估计结果显示年龄(≥ 30 岁)、学历(专科/本科及以上)、月收入(≥ 1 万元)的估计值(P 值)分别为 0.078 (0.421)、0.510 (0.000)、0.479 (0.000)。可以看出:

学历是电动汽车购买意愿的显著正向影响因素。专科/本科及以上学历的受访者,相较于学历较低者,表现出更强的购买意愿,这表明教育水平的提升可能增强了人们对环保出行方式的认知与接受度。月收入水平也显著影响了电动汽车的购买意愿,这可能反映出高收入群体对新技术产品的更高接受度和购买力。年龄因素在本模型中对电动汽车购买意愿的影响并不显著。高收入高学历群体愿意再次购买电动汽车,说明其对于电动汽车的满意度较高,并且可能受到信息影响下对 P + R 有更高的接受度和使用意愿。

离散选择模型的估计结果如表 1 所示。显著影响电动汽车用户选择 P + R 方式的因素包括电动汽车再次购买意愿、是否使用过 P + R、自驾延误时间、P + R 停车费用、P + R 停车场到地铁站的步行时间以及 P + R 停车场充电桩的使用情况。根据表 1 的结果,可以得出以下结论:

1) 电动汽车再次购买意愿的系数为负(-1.599),表明越有意愿购买电动汽车的用户越倾向于选择自驾出行。这与预期不符,可能与上海市免费发放新能源汽车车牌政策有关,该政策降低了电动汽车用户获取车牌的难度,提升了自驾出行的便利性,并且电动汽车的使用费用相对较低,促使其选择自驾出行;也可能是因为有意愿再次购买电动汽车的用户通常对电动汽车的性能、经济型和环保性有较高的认可度,

并且其本身就偏好自驾出行，享受电动汽车带来的驾驶乐趣和灵活性，所以更加倾向于将电动汽车作为主要的出行工具。

2) 使用过 P + R 的系数为正(1.086)，说明有 P + R 使用经验的用户更倾向于选择这种方式。这可能是因为这些用户对 P + R 的便利性有更深入的了解，尤其是在手机出行 APP 整合了自驾和 P + R 路线信息的情况下，P + R 的吸引力进一步提升。

3) 自驾延误时间的系数为正(0.136)，表明自驾出行的延误时间越长，用户选择 P + R 的意愿越强。这可能是由于长时间的延误浪费用户的时间，增加用户的出行成本，为提高出行效率转向 P + R。

4) P + R 停车费用的系数为负(-0.069)，表明 P + R 停车费用越高，用户选择 P + R 的概率越低。这说明停车费用是用户选择 P + R 方式的重要经济因素，费用较高可能降低其吸引力。

5) P + R 停车场到地铁站的步行时间的系数为负(-0.124)，表明步行时间越短，用户越倾向于选择 P + R 方式。步行时间是影响出行便捷性的关键因素，较短的步行时间可以显著提高 P + R 的吸引力。

6) P + R 停车场充电桩使用未了的系数为正(0.372)，表明在充电桩充足的情况下，用户选择 P + R 方式的概率更高。这表明充电桩的可用性是电动汽车用户考虑选择 P + R 方式的关键因素之一，充电设施的完善有助于提升 P + R 方式的使用率。

7) 常数项系数显著为负(-2.539)，表明在无其他因素影响时，电动汽车用户更倾向于选择自驾。这反映了他们对自驾出行的偏好，可能与既有的出行习惯或自驾便利性相关。

综上所述，电动汽车用户选择 P + R 方式的主要影响因素包括经济成本、时间成本、充电设施的可用性等。尤其是手机出行 APP 整合了自驾和 P + R 路线信息后，显著提升了电动汽车用户对 P + R 方式的接受度，这与以往文献研究发现出行便利性和网络信息有助于提升居民的 P + R 选择相符合。

Table 1. System resulting data of standard experiment calibration results of parameters in discrete choice model

表 1. 离散选择模型参数标定结果

属性	变量	系数	S.E	P 值
心理属性	电动汽车再次购买意愿	-1.599	0.326	0.000
个体属性	使用过 P + R	1.086	0.243	0.000
自驾属性	自驾延误时间	0.136	0.012	0.000
	P + R 停车费用	-0.069	0.020	0.001
P + R 设施属性	P + R 停车场到地铁站步行时间	-0.124	0.052	0.016
	P + R 停车场充电桩使用未了	0.372	0.175	0.034
常数项		-2.539	0.453	0.000

4.2. 结果讨论

基于以上研究结果，提出以下建议：

1) 加强 P + R 方式的优势宣传：加大对 P + R 方式的宣传力度，特别强调其相对于自驾出行的优势，如避免延误和降低出行成本，以提高电动汽车用户对 P + R 方式的认知度和接受度。

2) 优化 P + R 使用体验：针对使用过 P + R 的用户，通过反馈机制收集使用体验，优化相关设施，提升 P + R 服务的便利性和舒适性，特别是在手机出行 APP 整合自驾和 P + R 路线信息方面，确保信息的实时性和准确性。

3) 实施差异化停车优惠政策：鉴于停车费用对 P + R 选择的负向影响，可以实施差异化停车优惠政

策。例如，对于长期或高频使用 P+R 服务的小汽车用户，提供累积积分兑换停车券、会员折扣等激励措施，以减轻用户的经济负担，增强 P+R 方式的吸引力。

4) 优化停车场布局，缩短步行时间：改善 P+R 停车场与地铁站之间的步行通道，如增加指示牌、改善步行路径、增设自动步道或电梯等，以缩短步行时间，提升用户的出行便利性。

5) 增加充电桩数量：考虑根据电动汽车用户的需求，增加 P+R 停车场内的充电桩数量，并增加快充设施，确保充电设施的可用性，降低充电费用，进一步增强 P+R 对用户的吸引力。

5. 结论

本文首次以电动汽车用户为研究对象，通过意向调查法探讨了手机出行 APP 整合自驾与 P+R 路线信息后电动汽车通勤用户的 P+R 选择意向，并分析了电动汽车再次购买意愿这一潜变量对 P+R 选择的影响。研究发现，是否使用过 P+R、自驾延误时间、P+R 停车费用、步行时间以及充电桩使用情况等因素对 P+R 使用意愿有显著影响。研究还发现，高学历(专科/本科及以上)及高收入(月收入超 1 万元)群体对电动汽车的购买意愿更为强烈。这些发现为理解电动汽车用户的出行行为及优化智能交通系统、推广 P+R 出行提供了重要见解。

然而，本研究样本量的限制可能对结果的普适性产生一定影响。未来研究应进一步扩大样本规模，以更全面地反映电动汽车用户的出行行为特征，从而提升研究结论的可靠性与有效性。此外，还可以考虑不同地区和人群的比较，以增强研究的广泛适用性。

基金项目

国家自然科学基金资助项目(71871143)。

参考文献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院办公厅转发国家发展改革委等部门关于推动城市停车设施发展意见的通知[EB/OL]. 2021-05-07. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5616155.htm, 2025-03-13.
- [2] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于印发“十四五”现代综合交通运输体系发展规划的通知[EB/OL]. 2022-01-18. https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/18/content_5669049.htm, 2025-03-13.
- [3] Macioszek, E. and Kurek, A. (2020) The Use of a Park and Ride System—A Case Study Based on the City of Cracow (Poland). *Energies*, **13**, Article 3473. <https://doi.org/10.3390/en13133473>
- [4] 陈佩虹, 史明鑫. 北京市停车换乘行为影响因素分析[J]. 北京交通大学(社会科学版), 2019, 18(1): 38-47.
- [5] Mei, Z., Wei, D., Ding, W., Wang, D. and Ma, D. (2023) Multi-Agent Simulation for Multi-Mode Travel Policy to Improve Park and Ride Efficiency. *Computers & Industrial Engineering*, **185**, Article ID: 109660. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109660>
- [6] 尉建南. 面向北京郊区通勤出行的 P&R 行为分析与建模[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- [7] 关宏志, 刘瑞远, 曾敏耀. 考虑停车换乘停车位不足的停车换乘行为[J]. 北京工业学学报, 2019, 45(6): 593-600.
- [8] 曹一迪. 基于 P&R 选择行为影响因素的停车诱导研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2023.
- [9] 朱震军, 徐逸清, 施非凡, 等. 基于 CNL 的轨道站点停车换乘选择行为分析[J]. 交通信息与安全, 2024, 42(1): 161-167.
- [10] 卢俊沛. 考虑用户时间和舒适度差异的 P+R 停车设施最优定价[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2023.
- [11] Khoo, H.L. and Asitha, K.S. (2016) User Requirements and Route Choice Response to Smart Phone Traffic Applications (apps). *Travel Behaviour and Society*, **3**, 59-70. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2015.08.004>
- [12] 王馨玉, 干宏程, 朱妍, 等. 多模式出行信息对小汽车出行者转向 P+R 的影响[J]. 交通运输研究, 2024, 10(3): 75-82.
- [13] 范文博, 蒋葛夫. 信息作用下随机多方式网络停车换乘行为[J]. 西南交通大学学报, 2008, 43(4): 524-530.

- [14] Huang, Y., Gan, H., Jing, P. and Wang, X. (2022) Analysis of Park and Ride Mode Choice Behavior under Multimodal Travel Information Service. *Transportation Letters*, **14**, 1080-1090. <https://doi.org/10.1080/19427867.2021.1988438>
- [15] Fornell, C. and Larcker, D.F. (1981) Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. *Journal of Marketing Research*, **18**, 39-50. <https://doi.org/10.1177/002224378101800104>
- [16] Vij, A. and Walker, J.L. (2016) How, When and Why Integrated Choice and Latent Variable Models Are Latently Useful. *Transportation Research Part B: Methodological*, **90**, 192-217. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.04.021>