

城市轨道交通限流条件下异质乘客出行时间选择行为研究

陈泳琦, 李思杰, 余彦翔, 刘志钢

(上海工程技术大学城市轨道交通学院, 上海 201620)

摘要: 在城市轨道交通早高峰常态大客流时段, 站内拥挤现象普遍, 管理者通常采取车站限流策略, 导致乘客出行行为表现出明显的偏好异质性。为深入探究早高峰时段不同乘客群体的出行时间选择行为及其限流策略的作用机制, 综合考虑个人属性、出行特性和态度偏好, 课题组设计了一份针对不同计划出行时间和通勤时长的乘客出行时间选择意愿调查问卷。基于上海地铁的问卷调查结果, 选取年龄、期望到达时间弹性和拥挤度敏感性作为反映乘客异质性的关键特性变量, 构建了乘客出行时间选择的多项Logit模型和考虑乘客异质性的混合Logit模型。运用Biogeme软件对模型参数进行标定, 研究结果显示: 在所有特性变量中, 旅行耗时对乘客出行时间选择的影响最为显著; 当计划出行时间接近限流开始或结束时间, 且通勤时长较长时, 乘客规避限流的意愿更强烈; 个体异质性分析表明, 具有灵活期望到达时间弹性的乘客更倾向于调整出行时间以避免限流或列车拥挤, 而拥挤度敏感性较高和年龄较小的乘客则更关注排队候车人数。

关键词: 城市交通; 出行时间选择行为; 异质性; 限流策略

中图分类号: U268.6

文献标志码: A

Research on the Time Selection Behavior of Heterogeneous Passengers under the Flow Restriction Conditions of Urban Rail Transit

Chen Yongqi, Li Sijie, Yu Yanqiao, Liu Zhigang

(School of Urban Rail Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: During the regular heavy passenger flow periods in the morning peak of urban rail transit, stations become crowded, prompting managers to commonly adopt station flow restriction strategies, resulting in distinct preferences and heterogeneity in passenger travel behavior. To gain a deeper understanding of the travel time choice behavior of different passenger groups during the morning rush hour and the mechanism of flow restriction strategies, this paper considers individual attributes, travel characteristics, and attitudinal preferences. It designs a questionnaire on passengers' willingness to choose travel times, taking into account different planned travel times and commuting durations as scenarios. Based on the questionnaire survey results of Shanghai Metro, age, passenger expected arrival time elasticity, and congestion sensitivity were selected as characteristic vari-

收稿日期: 2025-05-22

基金项目: 上海市哲学社会科学规划课题(2022EGL003)

ables reflecting passenger heterogeneity. Subsequently, a multinomial Logit model for passenger travel time selection and a mixed Logit model considering passenger heterogeneity were constructed. The model parameters are estimated using Biogeme software. The results indicate that, among all characteristic variables, travel duration has the most significant impact on passengers' travel time choices. Passengers are more inclined to avoid flow restriction when their planned departure times are closer to the start or end of flow restriction periods and when their commuting durations are longer. The analysis of individual heterogeneity reveals that passengers with flexible arrival times are more willing to adjust their travel times to avoid flow restriction or train congestion. Passengers with higher congestion sensitivity and younger passengers pay more attention to the number of people waiting in line.

Key words: urban traffic; travel time selection behavior; heterogeneity; passenger flow restriction strategy

城市轨道交通作为现代都市不可或缺的公共交通方式,随着城市人口密度的增长和经济活动的聚集,其承担的乘客出行需求呈现出持续上升的趋势。尤其在早高峰时段,运能与运量之间的矛盾尤为突出,形成了常态化的大客流现象,导致车站和列车严重拥挤,潜藏着不容忽视的安全隐患。目前,轨道交通运营企业普遍采用车站限流措施来控制乘客进站速度,通过适度延长部分乘客的候车时间,以确保车站内部运营的安全与顺畅。然而,在制定限流方案时,现场管理多依赖经验判断,对乘客出行行为特性与反馈考虑不足。因此,深入研究早高峰时段城市轨道交通乘客出行时间选择行为,理解乘客出行行为模式与限流策略的作用机制,对提升城市轨道交通运营管理的精细化水平具有重要意义。

关于出行时间选择的研究成果在道路交通领域较为丰富,主要考虑了出行前信息获取^[1-3]、道路拥堵程度以及出行费用^[4]等因素。目前,对城市轨道交通乘客出行时间选择行为的研究主要聚焦于票价因素,部分学者结合 Logit 模型,采用陈述偏好调查法^[5]、TOPSIS 分析法(优劣解距离法)^[6]、分时定价双层规划模型^[7-8],分析了乘客对票价变动的接受程度及其出行时间选择偏好,提出差异化定价策略以缓解节假日和高峰时段的车站客流拥挤。另有学者识别了拥挤度对城市轨道交通通勤者出行时间选择的影响,揭示了拥挤感知在乘客决策过程中的重要作用^[9]。在此基础上,严飞等^[10]综合考虑了票价和拥挤度对早高峰地铁通勤者出

行效用的双重影响。此外,窦雪萍等^[11]研究了在突发事件导致轨道交通限流的条件下,乘客在单一轨道交通方式与“轨道交通+短途公交”组合方式之间的选择行为。

为进一步提高运输服务质量,近年来部分学者在出行选择行为研究中关注到乘客个体的异质性。针对铁路运输,部分学者构建了潜在类别模型^[12]、离散选择模型^[13]、多项 Logit 模型^[14]、偏好异质性模型^[15]、潜在类别条件 Logit 模型^[16]、乘客年龄属性推断模型^[17],深入挖掘了不同乘客群体的乘车选择差异,为提升铁路服务的个性化水平提供了参考。针对城市轨道交通,部分学者运用 *k*-means 聚类方法^[18]、潜在类别模型^[19]对乘客进行分类,研究不同类别乘客群体对地铁票价变化的敏感程度。Li 等^[20]考虑了乘客社会经济特性和出行特性的异质性,提出了一种基于混合 Logit 模型的票价折扣策略。此外,有学者采用潜在类别方法研究了铁路和地铁枢纽站内乘客走行路径选择的异质性^[21],为行人微观仿真中乘客精细化建模提供了新思路。

本文聚焦于城市轨道交通市郊线路上发生常态大客流现象的车站,研究乘客在面对车站实施限流措施下的出行时间选择行为,构建多项 Logit 模型和考虑异质性的混合 Logit 模型,定量分析乘客出行时间选择的关键影响因素,揭示不同乘客群体在决策过程中的差异性表现,为轨道交通运营管理策略的制定和个性化服务水平的提升提供理论依据。

1 乘客出行时间选择意愿调查

1.1 出行时间选择影响因素

影响城市轨道交通系统乘客出行时间选择行为的因素主要包括出行者属性和出行属性。出行者属性是指乘客自身的个人特征,如性别、年龄、收入水平、学历、出行频率、期望到达时间弹性和列车拥挤度敏感性等。这些因素在乘客行为研究中被广泛考虑。出行属性则涉及某次出行的具体特征,包括出行目的、出行频率、出行距离以及出行时间是否处于限流时段等。

个体间的异质性受多种出行者属性影响,通常可分为可观测异质性和不可观测异质性。可观测异质性包括性别、年龄、收入水平等个人信息;而不可观测异质性则涵盖出行习惯和态度偏好,如期望到达时间弹性、对待列车拥挤及限流策略的态度等。

1.2 调查问卷设计

基于对出行时间选择影响因素的分析,本次问卷调查主要涵盖个人信息、出行行为特性、态度偏好以及乘客在不同出行时间情景下的方案选择。

上海地铁在07:15-09:00早高峰期间,对1号线、8号线、9号线、16号线等市郊线上的8座客流量较大的车站实施不同限流时段的限流政策。以9号线为例,佘山站和泗泾站在08:00-09:00早高峰期间实施限流,导致站外排队等候人数增多,增加了乘客

的出行时间。乘客可选择提前或推迟出行以避免限流时段。假设早高峰计划出行时间分别为08:00、08:15、08:30、08:45,通勤时长为30 min和60 min。结合4个不同的计划出行时间和2个不同的通勤时长,共生成8个互不相同的早高峰出行场景。每个场景针对不同实际出行时间提供5个出行备选方案:按原时间出行、提前15 min出行、提前30 min出行、推迟15 min出行和推迟30 min出行。将排队候车人数、旅行耗时及是否处于限流时段作为影响乘客出行方案选择的因素。乘客在预设场景下,根据不同个人情况,选择偏好的实际出行时间方案。

1.3 问卷调查结果分析

本次问卷调查面向上海地铁9号线佘山站和泗泾站的乘客,采用线上与线下相结合的方式,于2024年5月7日至5月13日进行。共发放问卷234份,回收有效问卷225份,有效率为96.15%。其中男性110人,女性115人,男女比例接近1:1。问卷调查结果如表1所示。

在个人信息方面,受访者以中低收入人群为主,18~29岁年龄段占比51.11%,大专/本科学历占比46.22%;在出行行为方面,绝大多数受访者在早高峰期间出行目的为通勤(上班/上学),周均出行频率为4~7 d;在出行态度方面,27.56%的受访者表示到达时间无弹性,43.11%的受访者期望到达时间可提前1~15 min;半数受访者认为拥挤度会影响出行

表1 调查数据统计

Tab.1 Survey data statistics

属性	分类	占比/%	属性	分类	占比/%
性别	男	48.89	周均出行频率	6~7 d	34.67
	女	51.11		4~5 d	36.00
年龄	18岁以下	4.89		3 d及以下	29.33
	18~29岁	55.11	没有弹性	27.56	
	30~39岁	23.11	可以提前1~15 min	43.11	
	40岁及以上	16.89	可以提前15~30 min	8.89	
月收入	5 000~10 000元	52.89	可以延后1~15 min	3.56	
	10 000~15 000元	22.67	可以延后15~30 min	1.78	
	15 000元及以上	24.44	可以自行决定期望到达时间	15.11	
学历	高中及以下	23.56	拥挤度对出行时间的	有影响	51.11
	大专/本科	46.22	影响	无影响	29.33
	研究生	30.22		不确定	19.56
出行目的	通勤(上班/上学)	66.67	对限流政策的了解程度	完全了解	21.78
	旅游	17.33		一般了解	46.22
	其他	16.00		完全不了解	32.00

时间选择;32.00%的受访者完全不了解地铁站限流政策。调查结果显示,年龄因素及出行态度因素对出行选择影响显著,因此采用年龄、乘客期望到达时间弹性和拥挤度敏感性作为描述乘客异质性的关键变量。

2 出行时间选择行为模型构建

2.1 确定特性变量

基于问卷调查分析结果,将乘客出行时间选择意愿调查情景中的计划出行时间、通勤时长,以及影响出行方案选择的排队候车人数、旅行耗时和是否实施限流措施,作为特性变量。同时,为充分考虑个体出行习惯的异质性对选择行为的影响,从出行者属性变量中筛选出年龄、期望到达时间弹性和拥挤度敏感性三个因素加入特性变量。为了便于模型建立,本文根据问卷结果将特性变量进行分级处理,各变量的符号说明及详细取值描述如表2所示。

2.2 多项Logit模型

多项Logit(MNL)模型是基于随机效用最大化

理论的假设。该模型的具体假定是随机误差项服从独立同分布(IID)且属于极值(或Gumbel)分布。本文基于MNL模型构建了一个不考虑个体异质性的乘客出行时间选择模型,其效用函数为

$$V_{in}^{MNL} = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{ink} + C_1 \quad (1)$$

式中: V_{in}^{MNL} 为MNL模型中出行者*i*在所有出行方案中选择第*n*个方案的效用函数; β_k 为出行方案中第*k*个特性变量的对应参数,由于MNL模型中个体间是同质的,各变量的待估参数 β_k 是固定值; X_{ink} 为出行者*i*选择第*n*个方案的第*k*个特性变量; C_1 为常数项。

出行者在针对无序多分类的出行方案选择中,都会遵循最大效用理论。即一般情况下,对于理性出行者*i*而言,在*N*个出行方案中选择第*n*种出行方案的概率为

$$P_{in}^{MNL} = \frac{\exp V_{in}^{MNL}}{\sum_{n=1}^N \exp V_{in}^{MNL}} \quad (2)$$

式中: P_{in}^{MNL} 为MNL模型中,出行者*i*选择第*n*个出行方案的概率。将所研究的特性变量代入式(1),

表2 特性变量及取值描述

Tab.2 Characteristic variables and value description

出行	特性变量	变量符号	取值说明
出行属性	计划出行时间	T_{plan}	计划出行时间 08:00, T_{plan} 取 1
			计划出行时间 08:15, T_{plan} 取 2
			计划出行时间 08:30, T_{plan} 取 3
			计划出行时间 08:45, T_{plan} 取 4
	通勤时长	T_{com}	通勤时长 30 min, T_{com} 取 0 通勤时长 60 min, T_{com} 取 1
出行属性	排队候车人数	W	排队候车 2~8 人, W 取 1
			排队候车 9~15 人, W 取 2
			排队候车 15 人以上, W 取 3
	旅行耗时	T_{tra}	旅行耗时增加 10%, T_{tra} 取 1 旅行耗时减少 10%, T_{tra} 取 0.25 旅行耗时减少 20%, T_{tra} 取 0
	是否限流	L	车站限流, L 取 1; 否则取 0
	年龄	A	年龄在 29 岁以下, A 取 1; 否则取 0
出行者属性	期望到达时间弹性	T_{cla}	没有弹性, T_{cla} 取 1
			期望到达时间可以提前 1~15 min, T_{cla} 取 2
			期望到达时间可以延后 1~15 min, T_{cla} 取 3
			期望到达时间可以提前 15~30 min, T_{cla} 取 4
	拥挤度敏感性	S_{con}	期望到达时间可以延后 15~30 min, T_{cla} 取 5 可以自行决定期望到达时间, T_{cla} 取 6 若拥挤度改变出行计划, S_{con} 取 1; 否则取 0

最终得到MNL模型的效用函数为

$$V_{in}^{MNL} = \beta_1 T_{plan} + \beta_2 T_{com} + \beta_3 W + \beta_4 T_{tra} + \beta_5 L + C_1 \quad (3)$$

2.3 混合Logit模型

混合Logit(ML)模型是一种多维度的统计模型,主要用于分析和预测个体在不同情境下的决策行为。该模型通过引入随机效应或个体特定参数,能够更有效地处理个体间的异质性和选择行为的复杂性。当出行者*i*选择第*n*个出行方案时,ML模型的待估参数 β_k 和效用函数可以表示为

$$\beta_k = \beta'_k + \beta_{c_j - X_{mk}} c_j$$

$$V_{in}^{ML} = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (\beta'_k + \beta_{c_j - X_{mk}} c_j) X_{ink} + C_2 \quad (4)$$

式中: β'_k 为出行方案中第*k*个特性变量的均值参数; V_{in}^{ML} 为ML模型中出行者*i*在所有出行方案中选择第*n*个方案的效用函数; c_j 为第*j*个异质性特性变量; $\beta_{c_j - X_{mk}}$ 为第*j*个异质性特性变量和选择第*n*个方案中第*k*个特性变量的联合参数,反映了个体*i*的异质性特征; C_2 为常数项。

对于具有异质性特性的个体*i*而言,在*N*个出行方案中选择第*n*种出行方案的概率为

$$P_{in}^{ML} = \frac{\exp V_{in}^{ML}}{\sum_{n=1}^N \exp V_{in}^{ML}} \quad (5)$$

式中: P_{in}^{ML} 为ML模型中,出行者*i*选择第*n*个出行方案的概率。

将本文所研究的特性变量代入混合Logit模型,最终得到ML模型的可观效用函数为

$$V_{in}^{ML} = \beta'_1 T_{plan} + \beta'_2 T_{com} + (\beta'_3 + \beta_{S_{con} - W} S_{con} + \beta_{A - W} A) W + (\beta'_4 + \beta_{T_{cla} - T_{tra}} T_{cla}) T_{tra} + \beta'_5 L + C_2 \quad (6)$$

由于ML模型的待估参数是出行者异质性特性变量与出行场景特性变量的联合参数,再加上固定值的总和,这反映了不同出行者个体之间的异质性特征。

3 出行时间选择行为分析

3.1 参数标定结果分析

根据调查问卷中获取的乘客在不同出行时间场景下的出行方案选择数据,结合乘客的个人属性及出行行为态度,利用Biogeme软件,对构建的MNL和ML两种模型进行参数标定。在结果分析过程中,排除了不具备显著性的参数标定结果,最终得出的参数估计值如表3所示。表3中, β_k 各系

表3 各特性变量系数估计值

Tab.3 Estimated coefficients of each characteristic variable

模型	系数	估计值	<i>p</i>
MNL	C_1	13.63	0
	β_1	3.52	0
	β_2	1.29	1.62×10^{-13}
	β_3	0.64	5.21×10^{-5}
	β_4	5.18	0
ML	β_5	1.02	1.05×10^{-2}
	C_2	9.25	0
	β'_1	9.18	0
	β'_2	1.13	2.63×10^{-7}
	β'_3	1.35	1.23×10^{-2}
	β'_4	0.84	7.43×10^{-1}
	β'_5	-0.76	6.45×10^{-1}
	$\beta_{T_{cla} - T_{tra}}$	1.47	1.26×10^{-5}
	$\beta_{A - W}$	0.34	8.90×10^{-2}
	$\beta_{S_{con} - W}$	0.46	2.26×10^{-2}

数为效用函数中对应特性变量的影响程度,*p*值用于评估特性变量的置信度水平,*p*小于0.05通常表示该特性变量在统计学上具有显著性。在MNL模型中,所有特性变量系数估计值的*p*均小于0.05;而在ML模型中,各特性变量系数估计值的*p*大都小于0.05。由此可见,所选取的特性变量较为合理,具备显著性,能够有效应用于效用模型。

根据表3模型参数标定结果可知,MNL模型的效用函数和ML模型的效用函数分别为

$$V_{in}^{MNL} = 3.52T_{plan} + 1.29T_{com} + 0.64W + 5.18T_{tra} + 1.02L + 13.63 \quad (7)$$

$$V_{in}^{ML} = 9.18T_{plan} + 1.13T_{com}T_{tra} + (1.35 + 2.26S_{con} + 0.34A)W + (0.84 + 1.47T_{cla})T_{tra} - 0.76L + 9.25 \quad (8)$$

3.2 MNL模型结果分析

3.2.1 出行属性单一影响因素分析

在MNL模型中,计划出行时间、通勤时长、排队候车人数、旅行耗时、限流情况等因素均在一定程度上影响了乘客对实际出行时间的选择。其中,旅行耗时的参数估计值为5.18,排队候车人数的参数估计值为0.64,这表明在各项特性变量中,旅行耗时对乘客出行时间选择的影响最为显著,而排队候车人数的影响则相对较小。

3.2.2 出行场景组合影响因素分析

计划出行时间与通勤时长的不同组合显著体

现了出行场景的多元化特性。通过进一步分析乘客在不同计划出行时间和通勤时长组合下的出行选择,计算不同组合场景下乘客选择提前或推迟出行的概率,可以反映出乘客避开限流的意愿强烈程度,如图1所示。

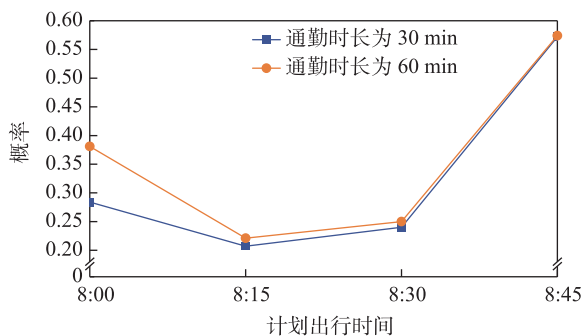


图1 不同出行场景下乘客选择规避限流的概率

Fig. 1 Probability of passengers choosing to avoid flow restrictions in different travel scenarios

在通勤时长保持不变的情况下,当计划出行时间接近限流开始时间(08:00)或结束时间(09:00)时,乘客规避限流的意愿显著增强。这表明乘客倾向于通过微调出行时间来最小化因限流带来的不便,凸显了他们为减少等待时间、避免拥堵而主动调整出行策略的灵活性,同时也反映了其追求出行效率最大化的心理倾向。

在计划出行时间固定的情境下,随着通勤时长的增加,乘客规避限流的意愿也随之提升。这一结果不仅揭示了乘客在长时间通勤过程中对乘车舒适性及个人体验优化的更高需求,还进一步强调了他们在面对限流等不利条件时,愿意采取积极措施以保障自身出行体验的心理状态,从而增强了其规避限流时段的意愿。

3.3 ML模型结果分析

在ML模型中,期望到达时间弹性是影响乘客出行时间选择的关键因素。对于那些可以自行决定期望到达时间的乘客,相较于到达时间无弹性的乘客,他们在选择提前或推后出行时获得的效用更高。

排队候车人数对不同年龄群体和不同拥挤度敏感性群体的影响存在显著差异。年龄小于29岁的乘客以及拥挤度敏感性高的乘客,会使排队候车人数的系数权重增加。这表明,年龄越小且越重视拥挤度的乘客,会更加关注排队候车人数,并更容易因排队人数过多而改变出行时间。

4 结论

1) 计划出行时间、通勤时长、排队候车人数、旅行耗时和限流情况均对乘客实际出行时间选择行为产生影响,其中旅行耗时的参数估计值为5.18,对乘客出行时间选择的影响最为显著,反映出乘客对旅行效率的高度敏感性。

2) 当计划出行时间与限流开始或结束时间较为接近时,乘客会灵活调整出行时间以避免拥堵;随着通勤时长的增加,乘客规避限流的意愿更强烈,显示出对乘车舒适度和体验的更高追求。

3) 个体异质性对出行决策具有显著影响。具有灵活期望到达时间弹性的乘客更易改变计划以避免限流或拥挤;年轻及对拥挤度敏感性较高的乘客更关注排队候车人数。

参考文献:

- [1] YU Y, HAN X, JIA B, et al. Is providing inaccurate pre-trip information better than providing no information in the morning commute under stochastic bottleneck capacity[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2021, 126: 103085.
- [2] HAN X, YU Y, GAO Z Y, et al. The value of pre-trip information on departure time and route choice in the morning commute under stochastic traffic conditions[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2021, 152: 205-226.
- [3] BURGER K, BECKER E, ROSSI R. Would you switch? Understanding intra-peak demand shifting among rail commuters[J]. *Journal of Public Transportation*, 2023, 25: 100073.
- [4] 姜凡. 道路拥堵收费情境下私家车通勤者出行选择行为研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2021.
JIANG F. Research on the travel choice behavior of private car commuters under congestion pricing[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2021.
- [5] 杨静, 张玉清, 郭榕洁. 分时票价下节假日地铁乘客出行时间选择偏好[J]. *华东交通大学学报*, 2025, 42(3): 40-47.
YANG J, ZHANG Y Q, GUO R J. Holiday subway passenger travel time choice preference under time-sharing fare[J]. *Journal of East China Jiaotong University*, 2025, 42(3): 40-47.
- [6] PRASHANT A, DEV M. Modeling departure time choice of metro passengers: a case study of Delhi metro[J]. *Transportation Research Procedia*, 2023, 72: 933-940.
- [7] 刘念念. 基于乘客出发时间选择的城市轨道交通早高峰分时定价策略[D]. 北京: 北方工业大学, 2022.

- LIU N N. The time differential pricing strategy of urban-rail transit based on passengers departure time choice during morning peak hours[D]. Beijing: North China University of Technology, 2022.
- [8] 蔡雨,肖婷,瞿何舟.城市轨道交通分时定价模型研究[J].综合运输,2020,42(6):36-40.
CAI Y, XIAO T, QU H Z. Time-of-day pricing model of urban rail transit[J]. China Transportation Review, 2020, 42(6): 36-40.
- [9] CHENG Y, YE X F, FUJIYAMA T. Identifying crowding impact on departure time choice of commuters in urban rail transit[J]. Journal of Advanced Transportation, 2020, 2020(1): 8850565.
- [10] 严飞,刘天亮,李翔,等.早高峰地铁通勤计划延误价值分析与实证[J].交通信息与安全,2016,34(2):94-100.
YAN F, LIU T L, LI X, et al. An empirical study on value of schedule delay for morning peak-hour subway commuters[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2016, 34(2): 94-100.
- [11] 窦雪萍,史璐,董冉,等.公共卫生事件场景下轨道交通限流时乘客出行方式选择行为[J].交通信息与安全,2024,42(6):172-180.
DOU X P, SHI L, DONG R, et al. Travel mode choice of passengers under passenger flow control of rail transit during public health events[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2024, 42(6): 172-180.
- [12] 苏焕银,陶文聪,彭舒婷,等.城际铁路旅客乘车选择行为异质性分析[J].铁道科学与工程学报,2022,19(4):901-908.
SU H Y, TAO W C, PENG S T, et al. Heterogeneity analysis of passengers' choice behaviors on intercity railway [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2022, 19(4): 901-908.
- [13] 滕靖,薛晖.考虑出行者异质性的城际出行选择行为研究[J].铁道运输与经济,2020,42(S1):60-66.
TENG J, XUE H. A study on intercity travel choice behavior based on traveler heterogeneity[J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(S1): 60-66.
- [14] 赵鹏,翟茹雪,宋文波.考虑个体异质性的高速铁路旅客选择行为[J].北京交通大学学报,2019,43(2):117-123.
ZHAO P, ZHAI R X, SONG W B. Passenger choice behavior of high-speed railway considering individual heterogeneity[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2019, 43(2): 117-123.
- [15] HETRAKUL P, CIRILLO C. Accommodating taste heterogeneity in railway passenger choice models based on Internet booking data[J]. Journal of Choice Modelling, 2013, 6: 1-16.
- [16] 耿曙光,叶昕,王可.基于潜在类别模型的通勤出行行为异质性研究[J].综合运输,2024,46(7):113-118.
GENG S G, YE X, WANG K. Investigating heterogeneities in commuting travel behavior: a latent class modeling approach[J]. China Transportation Review, 2024, 46(7): 113-118.
- [17] 张安忠.考虑乘客异质性的城市轨道交通路径选择研究[D].北京:北京交通大学,2024.
ZHANG A Z. Research on urban rail transit route choice considering passenger heterogeneity[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2024.
- [18] 谭欣,段力伟,邹庆茹.考虑分时定价的城轨乘客出发时间选择分析[J].综合运输,2023,45(3):35-40.
TAN X, DUAN L W, ZOU Q R. Analysis of departure time selection for urban rail transit passengers considering time-of-use pricing[J]. China Transportation Review, 2023, 45(3): 35-40.
- [19] CHENG Q, DENG W, AMMAR RAZA M. Analysis of the departure time choices of metro passengers during peak hours[J]. IET Intelligent Transport Systems, 2020, 14(8): 866-872.
- [20] LI H Y, LI X, XU X Y, et al. Modeling departure time choice of metro passengers with a smart corrected mixed logit model: a case study in Beijing[J]. Transport Policy, 2018, 69: 106-121.
- [21] 郑昭,邱海童.基于潜在类别方法的铁路-地铁枢纽站内乘客异质性研究[J].城市公共交通,2021(12):47-52.
ZHENG Z, QIU H T. Study on passenger heterogeneity in railway-metro hub stations based on latent class method [J]. Urban Public Transport, 2021(12): 47-52.



第一作者:陈泳琦(2000—),女,研究方向为交通运输规划与管理。



通信作者:李思杰(1991—),女,副教授,博士,硕士生导师,主要研究方向为轨道交通运营管理。