

基于混合选择模型研究建成环境主观感知对通勤方式选择的影响

黄子轩^{1*}, 陆欢^{1,2}, 程智鹏¹, 干宏程^{1,2#}

¹上海理工大学管理学院, 上海

²上海理工大学超网络研究中心, 上海

收稿日期: 2025年3月15日; 录用日期: 2025年4月8日; 发布日期: 2025年4月17日

摘要

建成环境是影响出行行为的重要因素, 为探索出行者对建成环境的感知是否会对出行行为产生影响。本文根据上海市居民通勤出行问卷调查数据, 获取居民对居住地和工作地的建成环境主观感知, 同时设置了居住地和两地出行安全性、周边配套可达性、公共交通可达性、出行路况、出行美学、停车方便性, 一共12个潜变量, 使用多项logit模型(Multinomial Logit Model, MNL)和含潜变量的混合选择模型(Hybrid Choice Model, HCM)进行估计, 全面分析了个人社会经济属性和建成环境主观感知对出行方式选择的影响。结果表明, 1) HCM模型拟合系数大于MNL模型拟合系数, 拟合优度提升率为10%, 表明HCM模型对实证数据会带来更好的预测度; 2) 居住地周边出行美学对步行出行有正向影响, 工作地周边出行安全性对自行车出行有正向影响, 工作地周边出行路况及工作地停车方便性的主观感知也会对出行方式带来显著影响; 3) 对于通勤人员来说, 工作地的建成环境主观感知较居住地对出行方式影响更显著。因此, 为了促进公共交通通行和绿色健康方式出行, 可提升出行者对于建成环境的积极感知, 对出行者的出行方式选择行为进行干预和引导。

关键词

城市交通, 混合选择模型, 建成环境主观感知, 出行行为

Research on the Impact of Subjective Perceptions of the Built Environment on Commuting Mode Choice Based on a Hybrid Choice Model

Zixuang Huang^{1*}, Huan Lu^{1,2}, Zhipeng Cheng¹, Hongcheng Gan^{1,2#}

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 黄子轩, 陆欢, 程智鹏, 干宏程. 基于混合选择模型研究建成环境主观感知对通勤方式选择的影响[J]. 建模与仿真, 2025, 14(4): 441-453. DOI: 10.12677/mos.2025.144300

¹Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

²Center for Supernetworks Research, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Mar. 15th, 2025; accepted: Apr. 8th, 2025; published: Apr. 17th, 2025

Abstract

The built environment is a significant factor influencing travel behavior. To explore whether travelers' perceptions of the built environment affect their travel behavior, this study utilizes survey data on commuting behavior among Shanghai residents. The data captures residents' subjective perceptions of the built environment at both their residential and workplace locations. Twelve latent variables were established, including travel safety, accessibility of surrounding facilities, public transport accessibility, travel conditions, travel aesthetics, and parking convenience at both residential and workplace locations. The study employs the Multinomial Logit Model (MNL) and the Hybrid Choice Model (HCM) with latent variables to estimate the impact of individuals' socio-economic attributes and subjective perceptions of the built environment on travel mode choice. The results indicate that: 1) The HCM model has a higher goodness-of-fit coefficient compared to the MNL model, with an improvement rate of 10%, suggesting that the HCM model provides better predictive accuracy for empirical data; 2) Perceived travel aesthetics around the residential area positively influences walking, while perceived travel safety around the workplace positively influences cycling. Additionally, subjective perceptions of travel conditions and parking convenience at the workplace significantly impact travel mode choice; 3) For commuters, subjective perceptions of the built environment at the workplace have a more pronounced effect on travel mode choice than those at the residential location. Therefore, to promote the use of public transport and green, healthy travel modes, it is essential to enhance travelers' positive perceptions of the built environment and guide their travel mode choice behavior through targeted interventions.

Keywords

Urban Transportation, Hybrid Selection Mode, Subjective Perception of Built Environment, Travel Behavior

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

近年来,国内城市汽车数量持续增长,引发的城市交通拥堵与污染问题日益严峻。为有效解决交通问题,从20世纪末,城市规划研究人员开始尝试改善建筑环境来影响居民出行行为[1]。现有研究表明不同的城市建成环境对居民出行方式选择有深刻影响,大多数研究考虑了客观建成环境对出行方式的影响,大体上可以归纳为居住密度、混合度以及土地利用模式等方面。例如, Yang L 等[2]发现居住密度越高的地区,居民对汽车出行的依赖程度越小,而且建成环境对汽车保有量和出行方式选择均有影响。另外,国内有研究发现人们上学、上班等日常出行的短期决策会受到建成环境的长期影响[3]。国外学者 Lawrence 等[4]收集了在西雅图普吉特海湾地区的居民出行数据,考虑职住地的土地利用模式,发现土地利用混合度会显著影响居民出行方式选择。

在中国居民日常出行的结构中,通勤出行占据着相当大的份额,而城市建成环境更是通勤出行的关

键影响因素。因此有许多研究对建成环境与通勤出行方式选择的关系进行分析,孙斌栋[5]根据对上海市居民调查,发现居住地建成环境对通勤方式选择影响较强,工作地对居民通勤方式选择影响相对较弱。也有研究发现职住地两端的建成环境对通勤出行行为均有显著影响[6],这种差异可能是人们对现有建成环境主观感知的不同,因此有些学者开始注意建成环境主观感知的影响,并为此陆续开展了研究。从心理学中的刺激-反应理论来看,环境因素是影响人类行为的刺激因素。居民受到客观环境的影响,而客观环境反过来又塑造了他们的心理感知,Lin L [7]分析对比了建成环境主客观因素与步行的关联性,发现客观建成环境因素影响更大,同时建成环境主观感知同样对步行选择行为产生影响。Li Zhen Zhao 等[8]研究建成环境的客观特征和主观感知对居民体育活动产生的影响,结果显示建成环境主观感知会对其体育活动产生影响。有些学者认为建成环境的感知通常与步行和骑行相关,但与汽车出行无关[9],相比驾驶汽车出行的人来说,步行和骑行等慢行交通对于环境有更真实感知。另外,一些研究采用结构方程模型,探讨了人们对建成环境的主观感知如何影响出行行为。曹晨[10]将居住周围环境感知分为服务设施感知、道路情况感知、环境品质感知、交通安全感知、社区安全感知,通过结构方程模型进行分析,发现服务设施和环境品质感知越好选择步行及自行车的概率越大,交通安全与小汽车通勤呈正相关,道路情况和社区安全对通勤方式无直接影响。综合来看,目前大多数有关心理态度的研究都将关注点放在居民出行态度、偏好和满意度等[11],或者研究目标集中在居民选择步行、自行车出行和共享单车出行等某一个特定的出行方式上[12][13]。探讨建成环境感知对通勤人员各类出行方式影响的研究较为稀缺。

鉴于此,本文采用混合选择模型来研究上海市通勤者出行链两端居住地和工作地的建成环境感知对出行方式的影响。结合上海市通勤者的个体属性,对所调查的建成环境感知潜变量进行检验。通过将其有机整合到带有潜变量的 HCM 中展开深入分析,研究通勤人员个体对职住地两端建成环境感知与通勤出行行为之间的关系,为城市交通规划与出行研究领域提供更具深度和价值的参考依据。

2. 研究设计

2.1. 问卷收集

建成环境感知是指个体对建成环境(如建筑密度、街道设计、公共空间、绿化等)的主观认知和感受。这种感知不仅受物理环境特征的影响,还受到个体背景、文化、经验等因素的调节。因此,本文为研究建成环境感知对上海市通勤出行行为的影响,需要调查出行者个体社会经济属性。问卷采用 RP (Revealed Preference, RP)调查的形式,调查了上海市工作者通勤方式。

在上海市一些社区、中央商务区和公共交通枢纽进行了居民通勤问卷调查。为确保调查数据的准确性,采用预调查,确定调查问卷的可行性。在预调查过程中,本文采用线下发放纸质问卷的方式,共发放问卷 112 份,根据问卷填写情况和访谈结果对初始问卷进行修改,形成最终版本。正式调查时,针对上海市收集大规模数据,考虑到收集效率以及实地考察的限制,因此采用问卷星线上问卷调查,受访者通过扫描二维码或点击链接访问问卷,完成问卷后线上提供现金奖励,从而提高参与率,确保更可靠的数据。

本调查共收回相对完整的问卷 1024 份,根据结构方程建模中有效样本量为潜在变量总观察数的 20 倍的原则,本次问卷设计共包含 36 个观察数,因此需要确保有效问卷的数量至少为 720 份。剔除数据存在缺失的问卷,整理出有效问卷 899 份,有效率 90%,满足有效样本量要求。

2.2. 变量选取

2.2.1. 显变量选取

根据研究问题,问卷设计分为三部分。第一部分不仅收集了通勤者的基本信息,包括性别、学历、

年龄、年收入，同时，本次问卷考虑了工作类型和家庭状况等因素包括户籍、婚姻家庭情况、是否持有驾照以及私家车数量等。

第二部分是居民通勤出行方式选择，出行时长等出行特征，将通勤方式设置为因变量；最后一部分是建成环境感知潜变量的测量指标，通过测量指标来反映居民对建成环境的主观感知。本文主要通过所调查的个人信息和建成环境主观感知潜变量，分析影响通勤方式的因素。调查所得个人属性特征和家庭信息，文中所需显变量的编码，如表 1 所示。

Table 1. Variable definition and encoding

表 1. 显变量定义及编码方式

变量名称	定义	编码
性别	S _{male}	0 = 女; 1 = 男
年龄	S _{age}	1 = 18 岁以下; 2 = 18~30 岁; 3 = 31~40 岁; 4 = 41~50 岁; 5 = 51~60 岁; 6 = 60 岁以上
受教育程度	S _{edu}	1 = 高中及以下; 2 = 大学本科或大专; 3 = 硕士及以上
年收入	S _{salary}	1 = 10 万元以下; 2 = 11~20 万元; 3 = 21~30 万元; 4 = 31~40 万元; 5 = 41~50 万元; 6 = 50 万元以上
户籍所在地是否是上海	S _{cen}	0 = 否; 1 = 是
婚姻家庭情况	S _{mary}	0 = 未婚; 1 = 已婚无子女; 2 = 已婚有子女
是否有驾照	S _{license}	0 = 否; 1 = 是
私家车拥有量	S _{cars}	0 = 没有私家车; 1 = 有 1 辆; 2 = 有 2 辆; 3 = 三辆及以上
出行方式	Y _{choice}	1 = 步行; 2 = 自行车; 3 = 公共交通; 4 = 私家车

2.2.2. 潜变量选取

目前，尽管尚未建立标准化的问卷量表，但已有研究通过访谈和问卷调查探索了感知建筑环境的评价方法。学者们根据不同的研究目标和背景，制定了多种测量指标。

针对上海市通勤人员的调查显示，他们对建成环境的主观态度主要集中在：居住或工作区域出行的安全性、到达商业服务场所及公共服务设施的便利性、距公共车站的距离以及公共交通的覆盖范围。此外，通勤者在选择交通方式时，职住地周边的道路状况感知也是重要因素，如道路干净整洁程度影响出行舒适度，而街道夜间照明则与出行安全密切相关，步行和骑行方式对街道照明和沿途景观的要求较高。本文在构建感知建筑环境指标体系时，还将停车可用性纳入其中，有助于更清晰、有效地阐明感知建筑环境影响通勤模式选择的机制。

根据上海市通勤人员的具体情况，本文的量表问题项参考了先前关于一线城市的相关研究[14]-[16]，潜变量由 6 种不同的建成环境感知组成，分别为出行安全性、周边配套可达性、公共交通可达性、出行路况、出行美学、停车方便性。建成环境感知的测量指标采用 Likert 五级量表的形式：1、2、3、4、5 分别代表非常不同意、不同意、不确定、同意、非常同意。受访者对每个问题项的认同程度评价，量化其对各个建成环境因素的主观感知程度。潜变量的设置及编码如表 2 所示。

2.3. 样本分析

1) 个体社会经济属性分析

调查数据显示，通勤者中的性别分布较为均衡，男性和女性的比例分别为 42.4% 和 57.6%，其中女性受访者略多。年龄方面，受访者主要集中在 18~40 岁之间，约占总样本的 80% 以上，这与调查对象主要

Table 2. Latent variable coding for residence and workplace
表 2. 居住地和 workplaces 的潜变量编码

居住地潜变量	编码	工作地潜变量	编码
居住地周边出行安全性	η_1	工作地周边出行安全性	γ_1
居住地周边配套可达性	η_2	工作地周边配套可达性	γ_2
居住地周边公共交通可达性	η_3	工作地周边公共交通可达性	γ_3
居住地周边出行路况	η_4	工作地周边出行路况	γ_4
居住地周边出行美学	η_5	工作地周边出行美学	γ_5
居住地周边停车方便性	η_6	工作地周边停车方便性	γ_6

为通勤人员的特点一致。大部分通勤者处于青年和中青年阶段，这一群体的出行行为对交通政策和规划具有重要影响。在学历方面，调查结果显示，受访者的学历水平较高，其中专科/本科和硕士及以上学历的占比分别为 53% 和 38%。这表明上海市通勤者群体的教育经历较为优越，高学历群体在通勤出行方式的选择上可能具有更高的环保意识和对新型出行方式的接受度。关于年收入，调查显示，绝大多数受访者的年收入集中在 30 万元以内，占比达到 80%。其中，年收入在 10 万元以下的占比约为 20%，而年收入在 11~20 万元之间的占比为 44.3%。年收入在 31~40 万元的占比为 20.8%。这一收入结构反映了受访者的经济水平偏向中低收入群体，可能与其出行方式的选择和交通需求密切相关。具体的调查结果见表 3。

Table 3. Investigation of the commuters' basic information
表 3. 调查通勤者基本信息

基本信息		人数	占比%
性别	男	381	42.4
	女	518	57.6
年龄	18 岁以下	5	0.6
	18~30 岁	268	29.8
	31~40 岁	468	52.1
	41~50 岁	125	13.9
	51~60 岁	31	3.4
	60 岁以上	2	0.2
学历	硕士及以上	129	14.3
	大学(本科或大专)	717	79.8
	高中及以下	53	5.9
年收入	10 万元以下	179	19.9
	11~20 万元	398	44.3
	21~30 万元	187	20.8
	31~40 万元	82	9.1
	41~50 万元	21	2.3
	50 万元以上	32	3.6

受访者的家庭信息调查数据显示,76%的通勤者户籍在上海,户籍所在地呈现出的上海本地化特征,这对于分析本地通勤行为的特点具有一定的代表性。

在家庭情况方面,调查特别关注了是否有子女这一因素,旨在研究家庭结构对通勤行为的潜在影响。结果显示,已婚且有子女的受访者占比最高,达到66.6%。家庭责任尤其是有子女的家庭,可能对通勤方式的选择产生重要影响,如接送孩子上下学可能会促使家庭选择更为灵活的出行方式,如私家车或高质量的网约车服务。

关于驾照的持有情况,调查结果显示,大部分受访者具有驾照,占比高达85.7%。这一高比例的驾照持有者可能表明,上海市通勤者的出行方式选择中,私家车占有一定比重,尤其是在便捷性和舒适性需求较高的通勤人群中。

在私家车拥有情况方面,大多数通勤者拥有1辆私家车,占比最高为70.6%。无私家车的受访者占比约为14%,受访者家庭中拥有两辆私家车的数量与无私家车的受访者占比大致相同,为14.9%。这反映了上海市居民拥有私家车的家庭相对较多。

具体占比情况如图1所示,综合这些数据,家庭结构、驾照拥有情况以及私家车的拥有情况,都可能在一定程度上影响通勤者的出行方式选择,为进一步分析出行行为的驱动因素提供了有价值的信息。

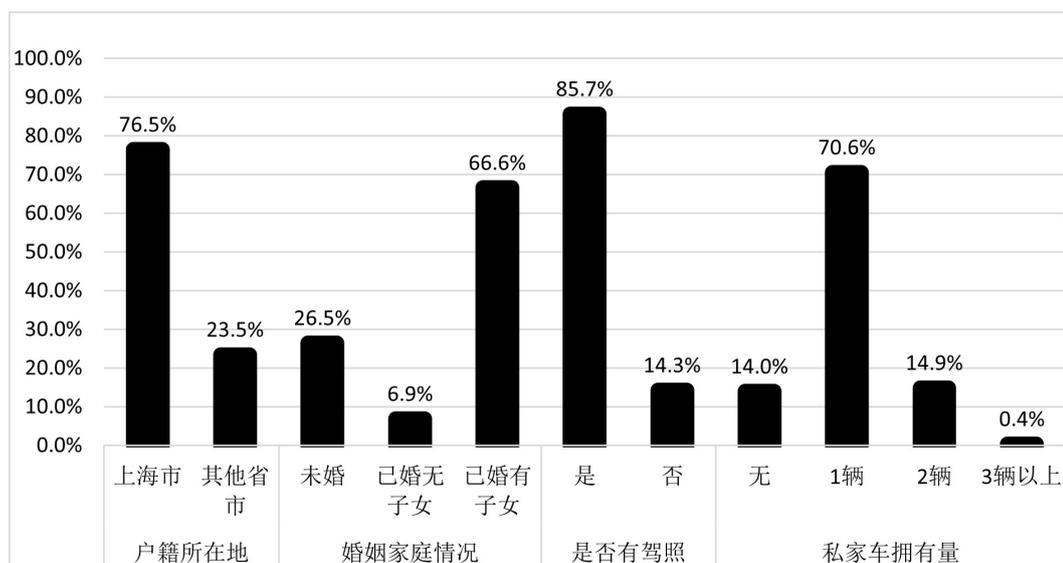


Figure 1. Commuters' family situation information chart

图1. 通勤者家庭情况信息图

2) 因变量样本

为了研究通勤方式受到建成环境感知的影响,将通勤者选择的通勤方式设置为因变量,根据出行实际情况,问卷对通勤方式设置成可以多选。受访者选择私家车出行的次数最多,地铁次之,步行第三,选择“其他”选项最少。通勤者对通勤出行方式选择次数排名如图2所示。

将通勤出行方式选择设置成因变量时,将选择结果归纳成四类:步行、自行车出行、公共交通出行、私家车出行。选择私家车出行的通勤者,同时选择其他出行方式,则认为其出行方式为私家车出行。常规公交、地铁以及出租车、网约车、单位班车的通勤方式归类为公共交通类通勤,若选择公共交通类出行方式,但未选私家车出行,则认为其出行方式为公共交通出行。自行车出行包括共享单车选项和自有自行车出行。选择其他选项人数最少,故不考虑。

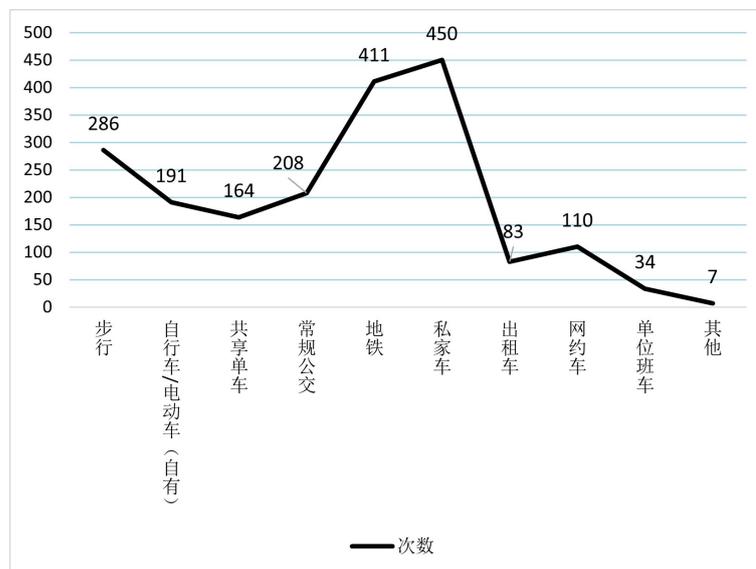


Figure 2. Line chart of the number of travel mode selections

图 2. 通勤出行方式选择次数折线图

3. 模型构建

3.1. 混合选择模型

Ben-Akiva 等[17]将潜变量引入离散选择模型,在出行选择行为建模中增加了出行者的主观心理变量,称为混合选择模型(Hybrid Choice Model, HCM),其本质上是一个纳入了潜变量的离散选择模型,它将离散选择模型和潜在变量模型结合在一个框架内。HCM 在探索潜在变量(如态度、观念和偏好)对出行方式选择影响的方面,具有非常显著的优势。

该模型的主要优势在于其高度的灵活性,能够处理显性因素,如交通工具的时间、成本等客观指标,同时也能处理隐性因素,如出行者的心理态度、价值观等主观感知,从而全面反映了出行选择行为的复杂性。

离散选择模型对选择通勤出行方式行为进行解释,而潜变量模型则专注于潜变量之间的关系,以及潜变量与可观测指标变量之间的关联。潜变量模型由测量模型和结构模型组成,其中测量模型用于描述潜变量如何通过可观测的指标进行反映,结构模型则揭示了不同潜变量之间的相互作用及其对决策行为的影响。基于研究问题,本文构建了一个包含个人社会经济属性、选择方案属性以及建成环境感知相关心理潜变量的混合选择模型。该模型在考虑潜变量的同时,并未考虑潜变量之间的相关性,以简化模型结构并提高其可操作性。

如图 3 所示,本文模型通过综合考虑个体的社会经济背景、选择方案的属性和其对建成环境的主观感知,分析不同因素如何共同影响通勤出行方式的选择。

设出行者采用第 i 种出行方式的效用 u_i 为

$$u_i = a_i S_i + b_i \eta_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

式中:

S_i 为可观测出行者个体属性的变量; η_i 为不可观测的潜变量;本文中为建成环境感知的六个潜变量分别是出行安全性、周边配套设置可访问性、公共交通可达性、出行路况、出行美学、停车方便性; a_i 、

b_i 均为未知参数向量； ε_i 为随机项。

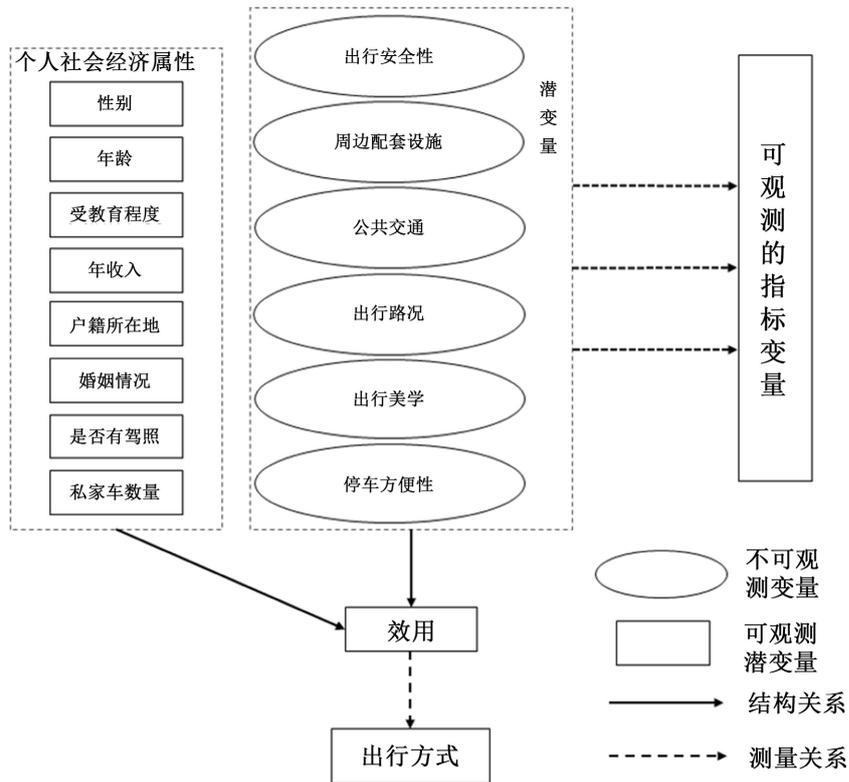


Figure 3. Mixed choice model
图 3. 混合选择模型

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，本文仅考虑解释变量与潜变量之间的关系，即：

$$\eta = \beta S + \xi \tag{2}$$

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

测量方程表示潜变量与可观测指标变量之间的关系，即：

$$Y = \alpha \eta + \delta \tag{3}$$

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

以上式(2)和式(3)就构成了多原因多指标模型，对于模型参数的估计，根据计算潜变量的适配值，并将其作外生变量代入离散选择模型之中，进行参数标定[7]。本文中借助 AMOS 和 SPSS 软件完成上述参数估计步骤。

本文的离散选择模型采用多元 logit 模型。logit 模型是最早建立在效用最大化理论基础的离散选择模型，logit 模型已发展为多元 logit 模型，也称为多元逻辑回归模型[18]。

本文中变量的类型有分类变量、有序分类变量以及连续变量。多元 logit 回归模型适合这些变量的研究方法。根据随机效用最大化理论，出行者进行决策时，在个人及家庭社会经济属性和主观建成环境属性变量的影响下会选择效用最大的出行方案，通过 STATA 软件实现。

3.2. 潜变量适配值计算

由于态度潜变量无法直接测量,需要通过外生测量变量、内生显变量来表示,所以在对混合选择模型求解前,应先求得潜变量的适配值,对 MIMIC 模型的潜变量适配值的求解过程如下:以某一个潜在感知建成环境变量与为例,将潜在感知建成环境变量对观测变量的因子载荷用 Λ_1 、 Λ_2 、...、 Λ_n 表示。

然后进行标准化处理,将处理后的系数作为各测量变量对应于潜变量的权重,分别用 α 表示。即:

$$\alpha_n = \frac{\Lambda_n}{\Lambda_1 + \Lambda_2 + \dots + \Lambda_n} \quad (4)$$

将调查问卷获取的各观测变量的值带入,得到各个主观建成环境变量的适配值,本研究采用 Likert 五级量表测量各潜在感知变量的观测变量值,各观测变量的取值在 1~5 之间,故各潜在变量的取值范围也在 1~5 之间。

$$\eta = \alpha_1 y_1 + \alpha_2 y_2 + \dots + \alpha_n y_n \quad (5)$$

式中, y 各观测指标的得分, α 为各测量变量对应于潜变量的权重, η 为潜变量。由此,根据 MIMIC 模型参数可计算出每个潜变量的适配值。

4. 模型结果分析

4.1. 变量检验

在本文调查研究中,为确保调查问卷及所回收数据的稳定程度及可靠性,在数据分析之前,本文通过, Cronbach's α 信度系数法验证问卷中潜变量设计的合理性, Cronbach's α 系数是衡量量表内部一致性的一项重要指标,通常当其值大于 0.7 时,表明问卷具有较好的信度,本文利用 SPSS26.0 软件对回收的数据进行信度分析。同时,为了验证回收样本的效度,利用 KMO 样本测度和 Bartlett 球体检验对回收的样本数据进行效度分析。

本研究中,居住地主观建成环境和工作地主观建成环境感知的测量项个数都设置了 18 个,居住地建成环境感知的整体标准化信度系数为 0.93,工作地主观建成环境的整体标准化信度系数为 0.94,这两个值都远高于 0.7,说明数据的信度是可靠的。每个维度的信度的标准化信度系数 α 均大于 0.7,因子载荷均大于 0.5,说明每个测量项对其对应潜变量的解释力较强。

此外, KMO 值均大于 0.5,表明样本数据适合进行因子分析。CR 值(组合可靠性)大多数都在 0.7 至 0.9 之间,部分维度的 CR 值超过 0.9,进一步证明了潜变量的可靠性, AVE 值(平均方差提取)大多都在 0.5 以上,各个维度测量指标能够较好地反映潜变量的本质特征。信度和效度指标均表明问卷设计的测量质量较高,能够有效捕捉上海市通勤人员对建成环境的主观感知,各个潜变量信效度检验结果如表 4 所示。

Table 4. Reliability and validity test

表 4. 信效度检验

潜变量	Cronbach's α	KMO 值	CR	AVE
η_1	0.772	0.662	0.749	0.443
η_2	0.912	0.748	0.914	0.779
η_3	0.911	0.738	0.912	0.776
η_4	0.780	0.760	0.803	0.517

续表

η_5	0.881	0.500	0.887	0.799
η_6	0.777	0.684	0.785	0.556
γ_1	0.833	0.747	0.842	0.574
γ_2	0.931	0.642	0.940	0.841
γ_3	0.946	0.723	0.949	0.862
γ_4	0.902	0.786	0.912	0.727
γ_5	0.896	0.500	0.895	0.811
γ_6	0.801	0.669	0.805	0.593

4.2. 模型参数标定分析

本文构建不含潜变量的多项 logit 模型，来估计个人经济社会属性对出行方式选择的影响；同时也构建了混合选择模型结构方程，研究受访者个人经济社会属性和建成环境感知潜变量对出行方式的影响。对两个模型参数进行标定。最终得出模型的参数估计和检验结果，去掉 P 值大于 0.1 的不显著变量，最后对出行方式有影响的潜变量为居住地周边出行美学、工作地周边出行安全性、工作地周边公共交通可达性以及工作地停车方便性。两个模型均以私家车出行为参照项，结果如表 5 和表 6 所示。

Table 5. Parameter calibration results of multinomial logit model

表 5. 不含潜变量的多项 logit 模型参数标定结果

变量	步行	自行车	公共交通
S _{male}	0.311	-0.697**	-0.862***
S _{age}	0.567**	0.442**	-0.712
S _{edu}	-1.033**	-0.592*	0.423**
S _{salary}	-0.203	-0.856***	-0.199**
S _{cen}	-0.757*	-0.718**	-0.323
S _{mary}	-0.815***	-0.422**	-0.212*
S _{license}	-2.503***	-1.778***	-1.905***
S _{cars}	-1.082**	-1.028***	-1.456***

优度比系数 R^2 0.1835

注：* $p < 0.1$ ，** $p < 0.05$ ，*** $p < 0.01$ 。

Table 6. Parameter calibration results of the HCM model

表 6. 混合选择模型参数标定结果

变量	步行	自行车	公共交通
S _{male}	0.327	-0.695**	-0.901***
S _{age}	0.611**	0.466**	-0.736
S _{edu}	-1.099**	-0.594*	0.409*
S _{salary}	-0.248	-0.853***	-0.193**

续表

S_{scen}	-0.861*	-0.852***	-0.323
S_{mary}	-0.865***	-0.427**	-0.230*
$S_{license}$	-2.676***	-1.806***	-1.932***
S_{cars}	-1.063**	-1.087***	-1.511***
η_5	0.781*	1.013	0.634
γ_1	0.342	0.640**	0.113
γ_4	-1.024*	0.166	0.378
γ_6	-0.634	-0.347*	-0.116

优度比系数 R^2 0.2007注：* $p < 0.1$ ，** $p < 0.05$ ，*** $p < 0.01$ 。

根据两个模型对比可以发现，HCM 模型拟合系数比 MNL 模型拟合系数大($0.2007 > 0.1835$)，这说明含潜变量的 HCM 模型明显优于传统的 MNL 模型，并且建成环境主观感知会对通勤行为产生影响。

不带潜变量的多项 logit 模型中，性别因素对步行方式的影响不显著，但对于自行车和公共交通通勤方式有显著的影响，相比于男性，女性更愿意选择自行车和公共交通出行，对于有驾照的工作者来说更喜欢私人驾车通勤；年龄因素对选择步行、自行车、公共交通出行均具有正向影响；通勤者的受教育程度越高，公共交通的出行意愿也就越高，但其步行、自行车出行率降低；年收入对自行车和公共交通出行具有负向影响，对步行影响不显著；户籍所在地为上海的通勤者，更不愿使用自行车出行；已婚和有子女的出行者更喜欢选择私家车出行；拥有驾照和拥有小汽车的因素对出行方式的选择具有特别显著的影响，这两个因素对步行、自行车、公共交通出行均呈现显著的负向影响，对选择小汽车出行呈现正向影响。

在混合选择模型中，个人社会经济属性对出行方式的影响更显著。在建成环境感知潜变量因素中，居住地建成环境感知的出行美学对步行通勤有正向影响，但对自行车和公共交通出行影响不显著，这表明通勤者居住地环境越好越有利于促进居民进行步行通勤，上海市居民一般会选择环境品质较好的社区居住，在结束工作下班后看到居住区域周边优美环境，更愿意采取步行这种慢行交通方式；但工作地出行美学对于通勤方式的影响不显著，说明通勤者在出行时更关注居住地的环境；工作地建成环境感知的出行安全性对自行车出行有显著正向影响，估计值为 0.640**，说明居民对工作地附近的社会治安及交通安全情况感知较好，在进行通勤出行决策时对安全性考虑较少，更愿意选择自行车通勤。而工作地出行路况在步行通勤具有负向影响，这说明上海市路况的地段可能游客越多步行人员越密集，通勤者步行的意愿就越低，工作地出行路况好有利于使用交通工具出行，所以更倾向于步行以外的通勤方式；工作地的停车方便性对自行车出行具有负向作用，工作地停车越方便会降低自行车出行方式选择的意愿，原因可能是停车位方便性感知越好的居民更有可能养成机动化出行习惯，即使在短距离下也更倾向于私家车出行，但居住地停车方便性对于通勤方式的影响并不显著，说明就业地停车是否方便是出行者重点考虑的因素，反映了上海市通勤人员更关注工作地的停车问题。

5. 研究结论与建议

本文以上海市进行通勤出行问卷调查，分析了上海市通勤人员居住地和工作地的建成环境主观感知与通勤方式的影响关系，探究建成环境主观感知潜变量的作用方向及影响大小，希望通过改善职住地建

成环境来引导工作者通勤出行向绿色交通方式转移，缓解道路拥堵减少空气污染。本文基于有效问卷数据构建了混合选择模型，分析了社会人口统计属性和建成环境感知对通勤出行方式选择行为的影响，得到了如下结论：

1) 通勤者对居住地建成环境感知会影响他们通勤方式的选择，就业者对居住地出行美学感知越好，更有可能选择步行通勤方式。在工作地建成环境感知中，工作地路况对步行通勤、以及停车方便性对自行车通勤均有负向影响，工作地的安全性对自行车通勤有正向作用；

2) 通过对比发现，混合选择模型比传统的多项 logit 模型对实证数据具有更高的拟合度，混合选择模型会带来更高的预测精度，且只需通过样本的个体信息便可对出行方式的分担率进行预测，对数据的要求不比传统的多项 logit 模型高，具有很高的实际可操作性；

3) 对于上海市通勤者来说，工作地建成环境感知对通勤方式的影响因素多于居住地，且影响系数更大，通勤人员更关注工作地建成环境带来的感知；

根据以上研究结论，对改善通勤者的建成环境感知，提出以下建议：

1) 为了促进公共交通通行和绿色健康方式出行，通过改善居住周边环境，城市规划者及建筑设计师在考虑建筑物功能性的同时，还应兼顾建筑物的外观吸引力，由此来提升出行者对于居住地建成环境美学的积极感知，其住所和工作场所附近较高等度的土地利用多样性缩短了各种设施之间的距离，促进了步行和骑自行车等非机动车通勤方式，有助于培养通勤者的绿色出行习惯；

2) 政府可通过增加工作地公共交通设施完善道路安全性，提高通勤者对工作地出行安全感知，同时可注重降低工作地的外地旅客人口密度，提升通勤者选择步行通勤的概率，以及相关部门增加工作地停车成本等方式，减少私家车通勤，实现对出行者的通勤方式选择绿色出行行为进行干预和引导；

3) 增加工作场所周围自然和人文景观的吸引力可以鼓励工人选择步行，自行车和公共交通，提升道路环境的美感可以增加通勤者在通勤时的享受。城市规划者和建筑师应在确保建筑物功能的同时，考虑建筑物的视觉吸引力。政府可以在街道绿色带种植观赏植物，建设绿化人行步道，增加步行意愿，使用其他绿色出行方式。

6. 结束语

上海市城市居民的通勤方式选择，会受到个人经济社会属性的影响，还会因为其对出行链两端建成环境的不同感知，选择不同的通勤方式。通过提高居民的建成环境积极感知，对通勤者选择非机动车和公共交通通勤方式有积极的促进作用。同时社会媒体应加大对绿色出行的宣传力度，传达低碳出行的各种益处，引导居民通勤出行采用绿色的交通方式。

此外，本研究在建成环境客观影响上存在一定的局限性，未考虑个体异质性对建成环境感知的影响，同时研究样本选择为上海市居民，上海作为国际大都市城市经济发展水平远超全国平均水平，此研究结论未必适用国内其他城市，这可能导致结果的准确性受到一定影响。此外，将研究范围扩大到包括通勤以外的各种出行目的，如购物，休闲和社交，更全面地探索建筑环境对不同出行方式选择的影响。因此，未来将进一步研究建成环境的主客观影响，通过调查多个城市的出行者来扩大样本规模，然后对样本进行个体特征的分类再结合个体因素对建成环境感知的影响来分析，以更全面地反映居民出行行为特征。

基金项目

国家自然科学基金(71871143)。

参考文献

- [1] Ball, K., Jeffery, R.W., Crawford, D.A., Roberts, R.J., Salmon, J. and Timperio, A.F. (2008) Mismatch between

- Perceived and Objective Measures of Physical Activity Environments. *Preventive Medicine*, **47**, 294-298. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2008.05.001>
- [2] Yang, L., Ding, C., Ju, Y. and Yu, B. (2021) Driving as a Commuting Travel Mode Choice of Car Owners in Urban China: Roles of the Built Environment. *Cities*, **112**, Article ID: 103114. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103114>
- [3] 吴黎明. 建成环境特性对地铁站换乘空间设计的影响机制及评价研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2021.
- [4] Frank, L., Bradley, M., Kavage, S., Chapman, J. and Lawton, T.K. (2007) Urban Form, Travel Time, and Cost Relationships with Tour Complexity and Mode Choice. *Transportation*, **35**, 37-54. <https://doi.org/10.1007/s11116-007-9136-6>
- [5] 孙斌栋, 但波. 上海城市建成环境对居民通勤方式选择的影响[J]. 地理学报, 2015, 70(10): 1664-1674.
- [6] Nasri, A. and Zhang, L. (2019) How Urban Form Characteristics at both Trip Ends Influence Mode Choice: Evidence from TOD vs. Non-Tod Zones of the Washington, D.C. Metropolitan Area. *Sustainability*, **11**, Article No. 3403. <https://doi.org/10.3390/su11123403>
- [7] Lin, L. and Moudon, A.V. (2010) Objective versus Subjective Measures of the Built Environment, Which Are Most Effective in Capturing Associations with Walking? *Health & Place*, **16**, 339-348. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2009.11.002>
- [8] Zhao, L., Shen, Z., Zhang, Y. and Sheng, F. (2019) Study on the Impact of the Objective Characteristics and Subjective Perception of the Built Environment on Residents' Physical Activities in Fuzhou, China. *Sustainability*, **12**, Article No. 329. <https://doi.org/10.3390/su12010329>
- [9] Ding, D., Sallis, J.F., Norman, G.J., Frank, L.D., Saelens, B.E., Kerr, J., *et al.* (2014) Neighborhood Environment and Physical Activity among Older Adults: Do the Relationships Differ by Driving Status? *Journal of Aging and Physical Activity*, **22**, 421-431. <https://doi.org/10.1123/japa.22.3.421>
- [10] 曹晨, 甄峰, 姜玉培. 邻里环境感知与个体健康对通勤模式选择的影响研究——以南京市为例[J]. 地理研究, 2021, 40(10): 2823-2837.
- [11] 李志斌, 杨晨, 王炜, 等. 基于出行态度的自行车通勤出行市场划分[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2012, 42(4): 784-789.
- [12] 王振坡, 康海霞, 王丽艳. 共享单车对居民通勤方式选择的影响研究——基于天津市微观调查与大数据的实证分析[J]. 城市发展研究, 2019, 26(10): 57-66.
- [13] 余静财, 李文权, 王顺超, 等. 共享电动汽车选择行为分析[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2021, 51(1): 153-160.
- [14] 姜玉培, 甄峰, 孙鸿鹄, 王文文. 健康视角下城市建成环境对老年人日常步行活动的影响研究[J]. 地理研究, 2020, 39(3): 570-584.
- [15] Panter, J., Griffin, S. and Ogilvie, D. (2014) Active Commuting and Perceptions of the Route Environment: A Longitudinal Analysis. *Preventive Medicine*, **67**, 134-140. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2014.06.033>
- [16] Paydar, M., Fard, A.K. and Khaghani, M.M. (2020) Walking toward Metro Stations: The Contribution of Distance, Attitudes, and Perceived Built Environment. *Sustainability*, **12**, Article No. 10291. <https://doi.org/10.3390/su122410291>
- [17] Ben-Akiva, M., Mcfadden, D., Train, K., Walker, J., Bhat, C., Bierlaire, M., *et al.* (2002) Hybrid Choice Models: Progress and Challenges. *Marketing Letters*, **13**, 163-175. <https://doi.org/10.1023/a:1020254301302>
- [18] 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>