

不同住房类型空间单元的建成环境对通勤方式选择的影响分析

吴娇蓉^{1,2}, 刘旭东¹

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 同济大学 城市交通研究院, 上海 201804)

摘要:为探讨不同规划单元群体混杂分布下建成环境对居民通勤方式选择的影响,构建了考虑住房类型空间单元异质性的混合 Logit 模型。同时,考虑个体层和规划空间单元层两个尺度建成环境特征对通勤行为的影响,并以深圳市的居民交通行为与意愿调查的抽样数据为例开展实证研究。结果表明:混合 Logit 模型比多项 Logit 模型有更好的拟合优度。若忽略住房空间单元群体的差异,土地利用混合度对混合住房空间单元的影响程度将被低估 18.5%,轨道站点保障性住房、小产权房和回迁指标房空间单元的影响程度将被高估 6.3%、5.4% 和 4.5%,公交站点密度对回迁指标房空间单元的影响将被低估 4.8%。公共服务设施对市场商品房(3.2%)和小产权房空间单元(2.8%)的经验敏感度最高,公交站点密度对保障性住房(2.6%)和回迁指标房(2.0%)的经验敏感度最大,到最近轨道站点距离对小产权房空间单元(2.1%)的经验敏感度最高。因此,有必要结合不同住房空间单元建成环境的影响和敏感度差异性,通过改善高效益住房空间单元的建成环境精准引导居民绿色通勤出行。

关键词:交通运输系统工程;建成环境;通勤方式选择;住房空间单元;混合 Logit 模型

中图分类号:U491 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5497(2025)02-0554-12

DOI:10.13229/j.cnki.jdxbgxb.20230387

Analysis of influence of built environment of spatial units of different housing types on commuting mode choice

WU Jiao-rong^{1,2}, LIU Xu-dong¹

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Urban Mobility Institute, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: In order to explore the impact of built environment on residents' commuting mode choice under the mixed distribution of different planning unit groups, a mixed logit model considering the heterogeneity of housing type spatial units was constructed. At the same time, the impact of built environment characteristics at both individual and planning spatial unit levels on commuting behavior was considered. An empirical study was conducted using sample data from a survey of residents' transportation behavior and willingness in Shenzhen. The results show that the mixed logit model has better goodness of fit than the multinomial logit model. If the differences in housing spatial unit groups are ignored, the degree of influence

收稿日期: 2023-04-19.

基金项目: 国家自然科学基金项目(52072263).

作者简介: 吴娇蓉(1973-), 女, 教授, 博士. 研究方向: 交通运输规划与管理. E-mail: wjrshjtj@163.com

of land use mix on mixed housing spatial units will be underestimated by 18.5%. The degree of influence of rail transit stations on affordable housing, small property rights housing and resettlement indicator housing spatial units will be overestimated by 6.3%, 5.4% and 4.5%, respectively, while the influence of bus stop density on resettlement indicator housing spatial units will be underestimated by 4.8%. Public service facilities have the greatest empirical sensitivity to commercial housing (3.2%) and small property rights housing spatial units (2.8%), while bus stop density has the greatest empirical sensitivity to affordable housing (2.6%) and resettlement indicator housing (2.0%), and distance to the nearest rail transit station has the greatest empirical sensitivity to small property rights housing spatial units (2.1%). Therefore, it is necessary to combine the impact and sensitivity differences of different housing spatial units' built environment, and accurately guide residents' green commuting through improving high-efficiency housing spatial units' built environment.

Key words: engineering of communications and transportation system; built environment; commuting mode choice; housing space units; mixed Logit model

0 引言

建成环境区别于自然环境,是能够影响居民活动行为的城市设计、土地利用和交通系统相关的一系列要素的组合^[1],随着我国机动化出行需求的不断增加,通过城市建成环境引导居民出行行为的研究已成为当今研究热点。

随着 Reid 等^[2]将建成环境的衡量方法量化到“5Ds”变量体系中,更多的学者对建成环境与出行行为的关系进行了探讨。张延吉等^[3]使用多项 Logit 模型检验了建成环境对通勤方式选择的影响,结果表明:改善建成环境可以减少小汽车通勤选择;尹超英等^[4]通过 PAM-DCM 模型发现居住地建成环境对小汽车通勤的影响大于工作地;黄勇等^[5]通过多项 Logit 模型检验了建成环境对高收入人群出行模式的影响,结果表明:通过建成环境对有无车辆的高收入人群出行模式的影响存在显著差异;Yin 等^[6]基于结构方程模型分析了以公交为导向开发(TOD)地区和非 TOD 地区建成环境对居民小汽车使用的影响,结果表明:两种地区建成环境对居民小汽车使用有显著差异。

现有建成环境影响研究通常采用家庭周围一定范围缓冲区或交通小区的空间尺度^[7],但是往往与城市控制性详细规划的编制单元(规划单元)结合不紧密,使得建成环境难以纳入标准单元的编制管控、实施监督等全生命周期管理体系。另外,少数学者关注到中国城市独特的住房情况下建成环境的影响差异,全照民等^[8]采用梯度提升决策树探究了建成环境对城中村居民通勤选择的

影响,结果表明:城中村居民对公共交通系统的依赖性更强;Chen 等^[7]构建了倾向评分匹配模型,结果表明:单位住房、商品房、公共住房和拆迁安置房居住地选择效应对车辆行驶距离的影响不同,并量化了建成环境和居住地选择在影响每种住宅类型居民车辆行驶距离的相对重要性。虽然部分学者研究了不同区位^[8]和不同住房^[7]下建成环境对居民出行选择的影响差异,但由于不同住房类型居住群体的经济属性^[9]、交通工具^[10]拥有情况具有显著差异性,不同社会经济属性群体在城市规划单元中的分布相互混杂,区域建成环境规划时针对群体差异的精准施策理论可行,但难以落地实施。

本文将城市规划空间单元和住房类型相结合,提出住房类型空间单元的概念,并以深圳为例,利用混合 Logit 模型构建面向不同住房类型空间单元建成环境的通勤方式选择模型,分析了忽略住房空间单元差异下的模型估计偏差,并对建成环境的经验敏感度进行分析,提出建成环境高效益空间单元的识别方法。研究结果可将不同社会经济属性群体结合区位特征进行划分,识别不同住房类型空间单元建成环境影响的差异性,通过确定建成环境发展或改善的优先级,为精准引导不同类型住房空间单元居民向环境友好型的通勤方式转变提供理论基础。

1 研究范围与数据描述

1.1 研究区域概况

深圳外围区域拥有大量小产权房和回迁指标

房,并且外围区域建成环境和原特区内区域的差异较大。考虑到外围区域的开发潜力,本文选取包括宝安区、光明区、龙岗区、龙华区和坪山区共 5 个行政区在内的深圳市外围区域作为研究区域。

1.2 数据来源与数据描述

1.2.1 数据说明

本文的数据来源为深圳市城市交通规划设计研究中心 2019 年开展的深圳市居民交通行为与意愿调查,其分为户特征、个人特征和出行特征 3 个板块,选取深圳市外围区域以通勤为目的的 12 415 条出行数据作为研究样本。

1.2.2 变量选择

2019 年深圳市居民交通行为与意愿调查中私人小汽车、公共交通、电动自行车和步行 4 种方式占全方式的 95.46%,因此,选取以上 4 种出行方式作为因变量。

在解释变量中纳入个人社会经济属性变量、出行时间和经济成本作为控制变量,避免高估建成环境对通勤方式选择的直接影响^[11]。建成环境相关变量选取参考 Reid^[2]提出的“5Ds”指标体系,使用人口密度和公共服务设施密度描述密度(Density)情况,使用土地利用混合度描述多样性(Diversity),路网密度描述设计(Design),到深圳市民中心的路网距离描述目的地可达性(Destination),到最近公交站距离、公交站点密度、到最近地铁站距离描述公交站点可达性(Distance)。

1.2.3 变量获取

居民社会经济属性变量通过 2019 年深圳市

居民交通行为与意愿调查获取。收入属性划分参考柳文燕^[12]对收入群体的划分,按照比例法将 25 万元/年作为高收入家庭分界线。

建成环境“5Ds”指标体系计算建成环境的相关指标时,将深圳市国土空间规划构建的 758 个国土空间标准规划单元^[13]作为空间单元进行研究。

现有研究发现,居民到市中心的距离能够反映空间分布特征,对居民通勤选择有着显著影响^[8],本文以福田区深圳市民中心为市中心^[14]。

公共服务设施密度和公交站点密度采用高德 API 获取餐饮、住宿、购物、生活服务、运动场馆、医疗设施和公交站点 7 种 POI 信息。标准规划单元的土地利用混合度计算如式(1)所示:

$$E = \frac{-\sum_{i=1}^N p_i \ln p_i}{\ln N} \quad (1)$$

式中: p_i 为第 i 类用地类型面积占比; N 为标准规划单元内用地类型的数量; E 为该标准规划单元的土地利用混合度。

变量描述如表 1 所示。

1.2.4 住房类型空间单元

计算标准规划单元内各住房类型比例,结合空间评价单元边界划分方法^[15],以 60% 为分类阈值,将标准规划单元划分为市场商品房空间单元、保障性住房空间单元、小产权房空间单元、回迁指标房空间单元和混合住房空间单元,划分原则和结果如表 2 和图 1 所示。

表 1 变量描述

Table 1 Variable description

变量类别	变量	变量符号	变量描述
方案变量	经济成本	Cost	出行的固定经济成本和使用经济成本
	出行时间	Time	出行耗时
社会经济属性变量	性别	Gender	1=男;0=女
	年龄	Age	1=30 岁以上;2=30 岁及以下
	学历	Edu	1=初中及以下学历(参考变量);2=高中和中专;3=大专;4=本科及以上
	户收入	Income	1=收入大于等于 25 万元/年;0=收入小于 25 万元/年
	家庭拥车数	Car	家庭拥车数量
建成环境变量	人口密度	Pop	空间单元人口密度/(万人·km ⁻²)
	公共服务设施密度	POI	空间单元餐饮、住宿、购物、生活服务、运动场馆、医疗设施 POI 密度/(百个·km ⁻²)
	土地混合度	Landmix	空间单元的土地利用混合度(0~1)
	道路网密度	R_density	空间单元路网密度/(km·km ⁻²)
	到市中心距离	D_center	到深圳市民中心的路网距离/km
	到最近公交站距离	D_bus	住房空间单元内居民的住址到最近公交站的路网距离/km
	公交站点密度	Bus_density	空间单元公交站点密度/(个·km ⁻²)
	到最近地铁站距离	D_subway	住房空间单元内居民的住址到最近地铁站的路网距离/km

表 2 住房空间单元定义
Table 2 Housing space units definition

住房空间单元	定义	比例/%
市场商品房空间单元	市场商品房指经政府有关部门批准后,房地产公司开发经营,建成后用于市场出售或出租的房屋。标准规划单元市场商品房比例超过 60%,定义为市场商品房空间单元	29.1
保障性住房空间单元	政府为中低收入住房困难家庭所提供的限定标准、限定价格或租金的住房。标准规划单元保障性住房比例超过 60%,定义为保障性住房空间单元	1.8
小产权房空间单元	小产权房是指在农村集体土地上建设的房屋,未办理相关证件,未缴纳土地出让金等费用,其产权证由乡政府或村颁发。标准规划单元小产权房比例超过 60%,定义为小产权房空间单元	31.6
回迁指标房空间单元	尚未与开发商签署回迁协议的待迁房屋,购买后经村股份公司直接与开发商签约,可避税且不受限购令、限售令影响。标准规划单元回迁指标房比例超过 60%,定义为回迁指标房空间单元	7.6
混合住房空间单元	标准规划单元任意住房类型比例未超过 60%,视作混合住房空间单元	29.7

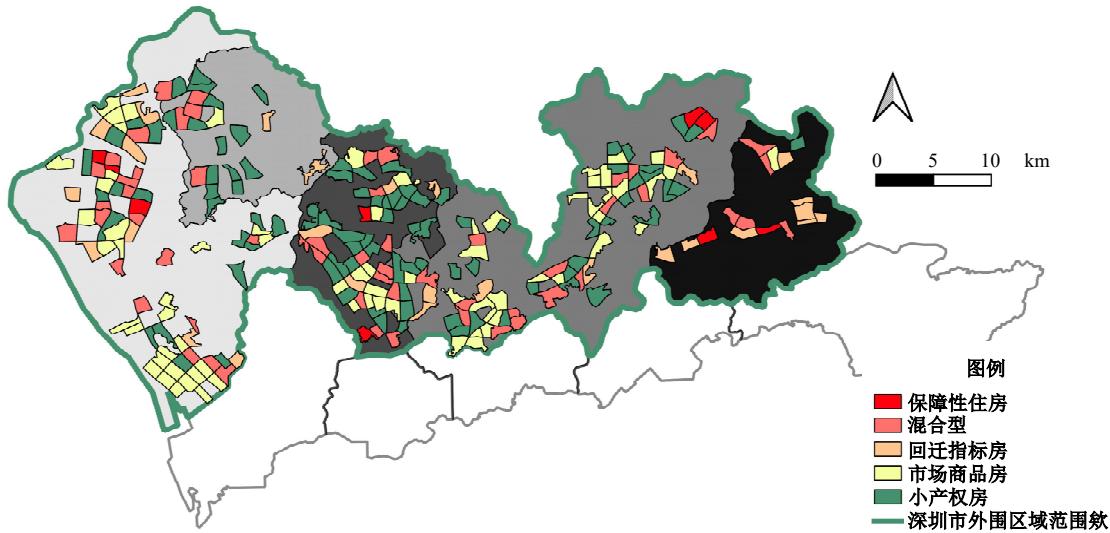


图 1 住房空间单元分布
Fig. 1 Housing space unit distribution

深圳市外围区域共 259 个空间单元,面积为 0.56~2.67 km²,平均面积为 1.41 km²。

1.2.5 关于不同住房类型空间单元的实证分析

深圳市居民交通行为与意愿调查中的出行是指为了一个目的(主导或参与社会、集体、家庭、或个人事务),采用一种或多种交通方式,从一个地方到另一个地方记为一次出行(以下行为不记入出行:在同一商业区内几个商场之间的移动;在一

幢大楼内部的移动;在同一学校或单位内的移动)。本文的通勤出行是以工作为目的的一次出行。不同住房类型空间单元居民的通勤结构如图 2 所示,市场商品房和保障性住房空间单元居民的小汽车出行比例较高;市场商品房空间单元拥有最高的公共交通出行比例;保障性住房和回迁指标房空间单元居民的电动自行车出行比例远高于其他住房空间单元。

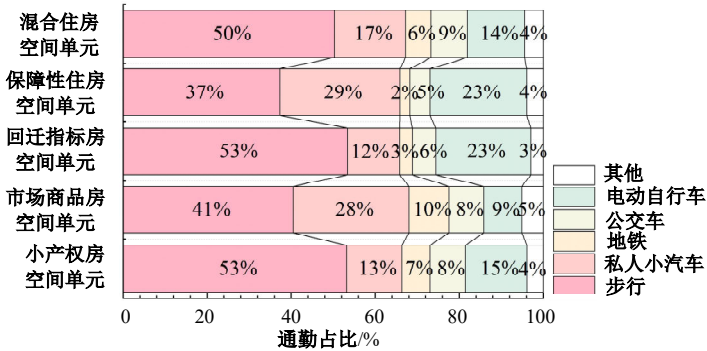


图 2 不同住房空间单元通勤出行结构

Fig. 2 Commuting trip structure of different housing space units

2 混合 Logit 模型

考虑到居民通勤方式选择是典型的无序多分类问题,多项 Logit 模型的应用最为广泛,其理论基础建立在无关方案的独立性(IIA)之上。传统的多项 Logit 模型假定所有的参数 β 均是固定不变的,即各影响因素对居民通勤方式选择的作用效果固定不变。实际上,方式选择作用机理极为复杂,模型不可能包含所有影响通勤方式选择的因素,并且各因素对通勤方式选择存在交互影响,从而使得模型中各因素的作用效果在每个居民上并非固定不变,即各因素对居民通勤方式选择的影响存在个体异质性。

而混合 Logit 模型,又称随机参数 Logit 模型,是基于随机最大效用的离散选择模型,假定待估参数服从一定分布形式,考虑个体对通勤方式选择的影响因素的随机性,避免 IIA 特性的限制。混合 Logit 模型的效用函数分为固定效用、随机效用和误差项,其效用函数表示为式(2):

$$U_{ik} = X_{ik}\beta_n + e_{ik} \quad (2)$$

式中: X_{ik} 为选择项效用可测量部分; β_n 和 e_{ik} 为无法直接测量得到的随机影响变量,要求 e_{ik} 服从独立同分布(IID)。在混合 Logit 模型中将 e_{ik} 分为两部分,一部分允许各选择项具有相关性和异质性的随机误差项,另一部分服从 IID 特性的随机误差项,效用函数表示为式(3):

$$U_{ik} = X_{ik}\beta_n + e_{ik} = X_{ik}\mu_b + (X_{ik}\eta_b + \epsilon_{ik}) \quad (3)$$

式中: μ_b 为 β_n 的均值; η_b 为 β_n 的随机误差项; ϵ_{ik} 为服从 IID 特性的随机误差项。

当 β_n 为固定值时,条件选择概率为:

$$L_k(\beta_n) = \frac{\exp(X_{ik}\beta_n)}{\sum_{k=1}^K \exp(X_{ik}\beta_n)} \quad (4)$$

将传统多项 Logit 模型的参数设置为随机参数后的模型,如式(5)所示:

$$P_k = \int L_i(\beta_n) f(\beta_n|\theta) d\beta_n \quad (5)$$

式中: $f(\beta_n|\theta)$ 为服从一定分布的概率密度函数。

当 β_n 服从正态分布时,模型可表示为式(6):

$$P_k = \int L_i(\beta_n) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp[-(\beta_n - \mu)^2 / 2\sigma^2] d\beta_n \quad (6)$$

若效用方程 U 采用解释变量 x 与系数 β 的线性组合,即: $U_{ik} = X_{ik}\beta_n$,此时的交叉弹性如式(7)所示:

$$E_{ikx}^m = -\frac{x_{ir}^m}{P_{ik}} \int \beta_{nm} L_{ik}(\beta_n) L_{ir}(\beta_n) f(\beta_n|\theta) d\beta_n = -x_{ir}^m \int \beta_{nm} \left[\frac{L_{ik}(\beta_n)}{P_{ik}} \right] L_{ir}(\beta_n) f(\beta_n|\theta) d\beta_n \quad (7)$$

式中: β_{nm} 为系数 β_n 中第 m 个元素,弹性值对于不同的选项 k 是不同的,即混合 Logit 没有 IIA 属性。

混合 Logit 模型的参数估计采用基于 Halton 序列的极大似然估计方法。从密度函数 $f(\beta_n|\theta)$ 随机抽取向量 β_{n1} ,多次抽取后计算仿真概率,如式(8)所示:

$$P_{ik} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T L_{ik}(\beta_{n1}) \quad (8)$$

构建对数似然函数,如式(9)所示,改变 θ 使其取最大值,即可估计所有模型参数。

$$LL(\beta_n) = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K y_{ik} \ln(P_{ik}) \quad (9)$$

通过式(10)计算各影响因素的经验敏感度^[16]。

$$ES_k = \frac{\sum_{i \in A} (P_{ik1} - P_{ik})}{\sum_{i \in A} P_{ik}} \quad (10)$$

式中: ES_k 为出行方式 k 的敏感度; P_{ik1} 为改变某一特定变量时选择出行方式 k 的概率; P_{ik} 为未改变变量时选择出行方式 k 的概率。

混合 Logit 模型可利用 McFadden Pseudo R^2 评价模型的拟合效果,该指标取值范围为 0~1,取值越大代表模型拟合效果越好。计算方法如式(11)所示:

$$\text{McFadden Pseudo } R^2 = 1 - \frac{\ln(L)}{\ln(L_0)} \quad (11)$$

式中: L 为模型的似然函数值; L_0 为模型中仅包含截距项时的似然函数值。

BIC(Bayesian information criterion)是衡量统计模型拟合优良性的一种标准,在增加参数数量时模型复杂度提升,增大似然函数的同时容易导致过拟合现象。AIC、BIC 等信息准则通过熵的理论权衡了模型复杂度和拟合数据优良性。BIC 计算方法如式(12)所示,其惩罚项比 AIC 更大,在样本数量过多时,可有效防止模型精度过高造成的模型复杂度过高。选择最佳模型时,通常选择 BIC 最小的模型。

$$\text{BIC} = -2 \ln(L) + k_0 \cdot \ln(n) \quad (12)$$

式中: k_0 为参数个数; n 为样本数量。

3 模型结果

3.1 模型拟合效果

为验证混合 Logit 模型的拟合效果,构建传统的多项 Logit 模型作为对比模型,全样本混合 Logit 模型的 McFadden Pseudo R^2 为 0.665,优于传统模型的 0.542。全样本混合 Logit 模型的 BIC 为 13 873,优于传统多项 Logit 模型的 15 292。不同住房空间单元采用混合 Logit 模型的拟合优度和 BIC 均优于传统模型,说明部分因素对居民通勤方式的选择存在非线性影响。

3.2 模型估计结果

不同住房空间单元的模式估计结果见表 3。

混合 Logit 模型识别出了 4 个变量的参数为随机参数:①费用;②步行时间;③电动自行车时间;④路网密度。路网密度随机参数的分布如图

3 所示。例如,市场商品房空间单元的路网密度对应参数服从均值为-0.157、标准差为 0.089 的正态分布,即路网密度增加 1 km/km²,3.89% 的市场商品房空间单元居民选择电动自行车的概率变高,96.11% 的市场商品房空间单元居民选择电动自行车的概率变低。

这 4 个随机参数能够揭示出相应因素对不同住房空间单元居民通勤方式选择的异质性,使得混合 Logit 模型的拟合效果优于传统的多项 Logit 模型。

Logit 模型的拟合结果常利用优势比(odds ratio)进行解释。其中,公共服务设施密度对市场商品房、小产权房和回迁指标房空间单元均产生步行的负向影响,原因主要是中国城市相对紧凑,高密度的公共服务设施会导致步行空间缺乏。

从多样性分析,土地利用混合度促进居民步

表 3 不同住房类型空间单元模型参数估计值

Table 3 Parameter estimates of spatial unit models for different housing types

变量(参考分类:私人小汽车)		全空间单元	市场商品房 空间单元	保障性住房 空间单元	小产权房空 间单元	回迁指标房 空间单元	混合住房空 间单元
方案 变量	小汽车时间	-0.199**	-0.178**	-0.168*	-0.192**	-0.171*	-0.214**
	公交时间	-0.038**	-0.040*	-0.060*	-0.035*	-0.088**	-0.035**
	步行时间	-0.187**	-0.209**	-0.201**	-0.179**	-0.234**	-0.179**
	参数分布标准差	0.087	0.097	0.094	0.080	0.104	0.079
	电动自行车时间	-0.242**	-0.288**	-0.383**	-0.249**	-0.280**	-0.221**
	参数分布标准差	0.109	0.123	0.174	0.113	0.121	0.093
	费用	-0.081**	-0.071**	-0.092**	-0.076**	-0.112**	-0.086**
	参数分布标准差	0.043	0.033	0.056	0.039	0.061	0.045
公共 交通	性别	-1.888**	-1.776**	-1.509**	-2.034**	-1.799**	-1.682**
	年龄	-1.102**	-1.101**	-0.743**	-1.417**	-1.261**	-1.013**
	学历(参考变量:初中及以下)						
	高中和中专	-0.726**	-0.662*	—	—	—	—
	大专	-0.859**	-1.101**	—	—	—	—
	本科及以上	-0.909**	-1.091**	—	—	—	—
	户收入 25 万元/年以上	-0.696**	-0.790*	—	—	-0.667*	—
	家庭车辆数	-1.170**	-1.490**	-0.753*	-1.121**	-1.127*	-1.117**
	到深圳市民中心的距离/km	-0.033**	-0.019**	-0.133**	-0.049*	-0.088**	-0.029**
	到最近轨道站点的距离/km	-0.086**	-0.091**	-0.151*	-0.141**	-0.132*	-0.060*
	空间单元人口密度/(万人·km ⁻²)	0.188**	0.255*	0.339*	0.261**	0.226*	0.153**
	公共服务设施密度/(百个·km ⁻²)	—	—	—	—	—	—
	到最近公交站点的路网距离/km	-0.084*	-0.081*	-0.139*	-0.115*	-0.101*	-0.078*
	公交站点密度/(个·km ⁻²)	0.022*	0.012*	0.024*	0.034*	0.069*	0.064**
	路网密度/(km·km ⁻²)	—	—	—	—	—	—
	土地利用混合度	—	—	—	—	—	—
	常数	3.810**	4.839**	3.843**	2.896**	8.199**	2.434**

续表							
变量(参考分类:私人小汽车)	全空间单元	市场商品房 空间单元	保障性住房 空间单元	小产权房空 间单元	回迁指标房 空间单元	混合住房空 间单元	
电动自行车	性别	-1.671**	-1.550**	-1.673**	-1.673**	-2.391**	-1.738**
	年龄	-0.428**	-0.890**	-0.729**	-0.942**	-0.832**	-0.355**
	学历(参考变量:初中及以下)						
	高中和中专	-0.429**	-0.875**	—	—	-0.907*	—
	大专	-0.926**	-1.483**	-1.653**	-0.272**	-1.244*	-0.683**
	本科及以上	-1.024**	-1.692**	-2.492**	-0.424*	-1.981**	-0.788**
	户收入 25 万元/年以上	-0.737**	-0.511*	-1.859*	-0.780**	-1.602*	-1.313**
	家庭车辆数	-1.208**	-1.678**	-0.396*	-0.750**	-1.595**	-1.073**
	到深圳市民中心的距离/km	-0.023**	-0.041**	-0.086*	-0.022**	-0.061**	-0.036**
	到最近轨道站点的距离/km	—	—	—	—	—	—
	空间单元人口密度/(万人·km ⁻²)	—	—	—	—	—	—
	公共服务设施密度/(百个·km ⁻²)	0.054**	0.228**	—	—	—	—
	到最近公交站点的路网距离/km	—	—	—	—	—	—
	公交站点密度/(个·km ⁻²)	—	—	—	—	—	—
	路网密度/(km·km ⁻²)	-0.037*	-0.157**	—	-0.066*	—	—
	参数分布标准差	0.026	0.089		0.041		
	土地利用混合度	—	—	—	—	—	—
	常数	5.845**	5.338**	8.183**	4.419**	7.840**	5.818**
步行	性别	-1.428**	-1.255**	-2.249**	-1.449**	-2.323**	-1.443**
	年龄	-0.742**	-0.559**	-0.530*	-1.152**	-1.240**	-0.725**
	学历(参考变量:初中及以下)						
	高中和中专	-1.012**	-1.295**	-1.238**	—	-0.928**	-0.641**
	大专	-1.455**	-1.432**	-1.357**	-0.870**	-1.014**	-1.234**
	本科及以上	-1.443**	-1.336**	-1.829**	-0.811**	-1.276**	-1.341**
	户收入 25 万元/年以上	—	—	—	—	—	—
	家庭车辆数	-0.879**	-1.174**	-1.102*	-0.852**	-1.323**	-0.776**
	到深圳市民中心的距离/km	-0.030**	-0.026**	-0.080**	-0.048**	-0.068**	-0.029**
	到最近轨道站点的距离/km	—	—	—	—	—	—
	空间单元人口密度/(万人·km ⁻²)	—	0.315**	—	—	—	—
	公共服务设施密度/(百个·km ⁻²)	—	-0.046*	—	-0.082**	-0.030**	—
	到最近公交站点的路网距离/km	—	—	—	—	0.134**	0.049*
	公交站点密度/(个·km ⁻²)	—	—	—	—	—	—
	路网密度/(km·km ⁻²)	-0.033**	-0.049*	-0.043**	-0.073**	-0.027**	-0.048**
	土地利用混合度	0.776**	—	1.697*	—	—	0.946*
	常数	5.952**	7.008**	6.337**	6.889**	7.237**	5.128**

注:a. 参考类别为:私人小汽车出行;b. *表示变量显著性<0.05,**表示变量显著性<0.01,—表示变量不显著。

行通勤,即土地利用越均衡越有利于居民选择步行,与相关研究的结论相似^[11]。但本文发现土地利用混合度在混合住房空间单元的影响会被低估18.5%。

从设计方面来看,忽略住房空间单元的差异会导致路网密度对市场商品房和小产权房空间单元电动自行车通勤的影响被高估11.3%和2.9%。

从目的地可达性分析,居住地到市中心的距离越近,居民选择小汽车通勤的概率越小。由于空间异质性和不同群体的差异,若忽略住房空间单元的群体差异,居住地到市中心的距离对保障性住房和回迁指标房空间单元人群公共交通通勤方式选择的影响会被高估9.5%和5.4%。

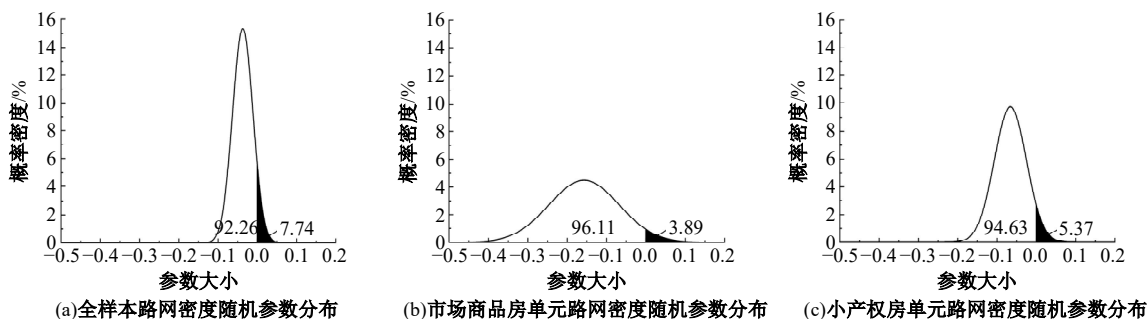


图3 混合Logit模型路网密度随机参数的分布

Fig. 3 Distribution of random parameters related to the built environment in mixed logit model

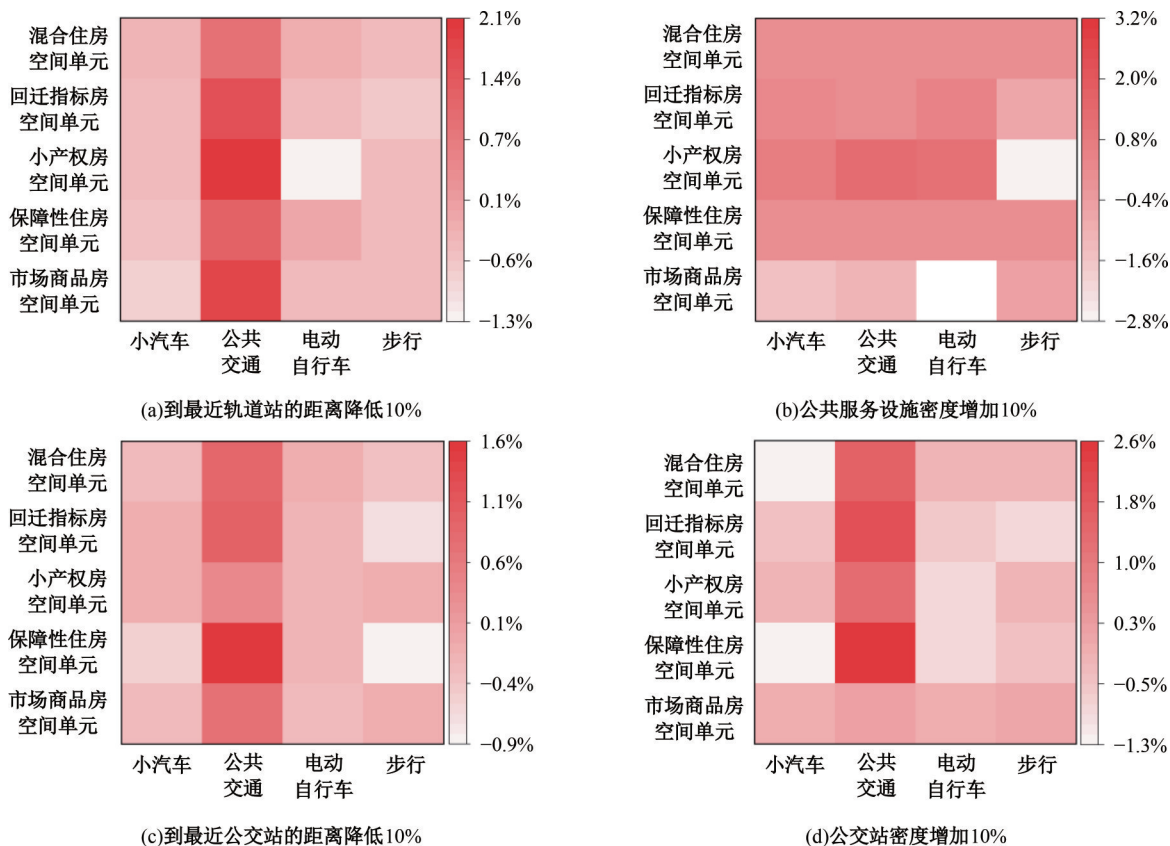
从公交站点可达性分析,居民到最近公交站点的路网距离缩短和公共站点密度增大时,公共交通通勤的概率增大。忽略不同住房类型空间单元的差异会导致到最近公交站点的路网距离对保障性住房空间单元的影响被高估5.4%,公交站点密度对回迁指标房空间单元的影响被低估4.8%。到最近轨道站点的距离对保障性住房、小产权房和回迁指标房空间单元的影响程度更大,主要是3类空间单元的居民收入水平总体处于较低水平,总体上倾向于出行成本较低的通勤方式。忽略住房空间单元群体的差异会导致轨道站点

对保障性住房、小产权房和回迁指标房空间单元的影响程度将分别被高估6.3%、5.4%和4.5%。

3.3 经验敏感度

计算建成环境关键变量对居民通勤方式选择的经验敏感度,结果见图4。居民到最近轨道站点的距离缩短10%,小产权房空间单元公共交通通勤敏感度是混合住房空间单元的2.3倍,小产权房空间单元居民对轨道交通可达性的敏感程度更高。

公共服务设施密度变化主要影响的是市场商品房和小产权房空间单元的居民,公共服务设施密度提升10%会使得3.2%的市场商品房空间单元的居民向电动自行车转移,2.8%的小产权房



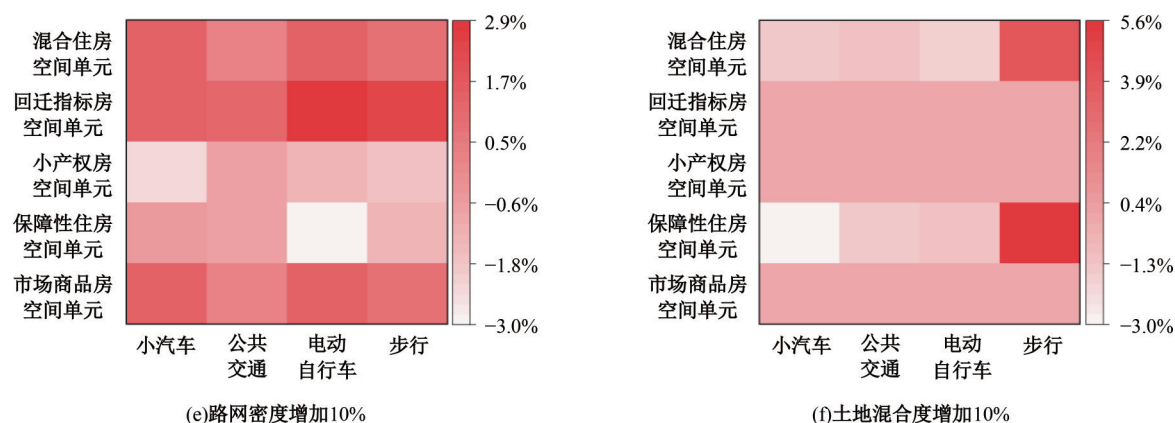


图4 关键变量的经验敏感度

Fig. 4 Empirical sensitivity of key variables

房空间单元的居民从步行向其他交通方式转移。小产权房空间单元为了提供更多住房空间而缩减了居民步行空间,其建成环境相对紧凑,公共服务设施的增加会进一步侵占步行空间,降低步行舒适性,从而导致通勤方式从步行向其他方式转移。

建成环境中公交站点对居民通勤方式选择有着重要影响,到最近公交站距离的缩短和公交站密度的增加都会使得居民向公共交通转移,并且其对保障性住房空间单元居民的通勤方式选择影响最大。公交站点密度每增加10%,保障性住房空间单元的居民采用公共交通通勤的比例将增加2.6%。

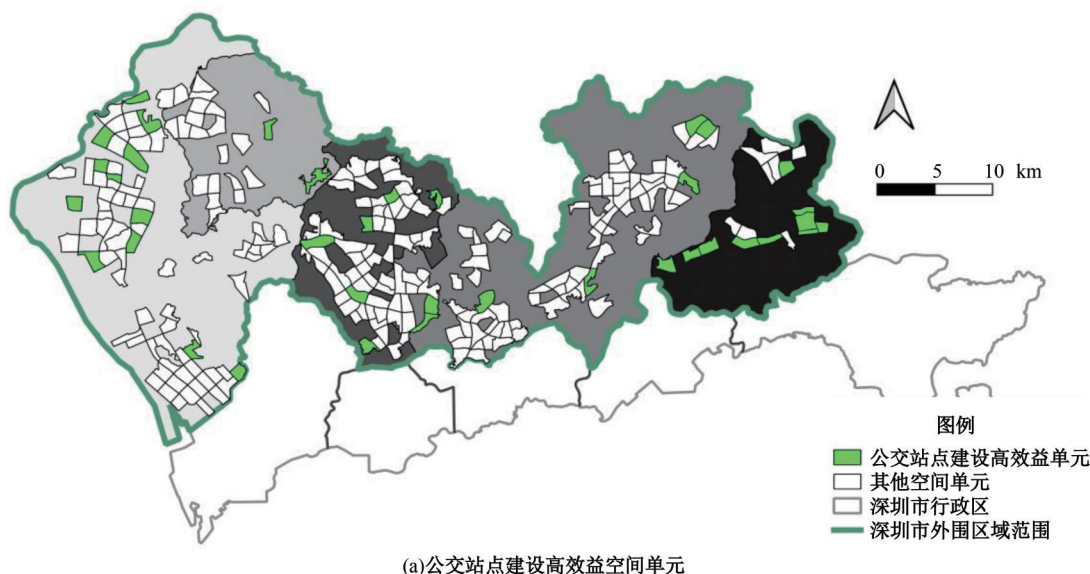
路网密度的增加会导致居民更倾向于小汽车和公共交通通勤。土地混合度的增加会使保障性住房和混合住房空间单元的居民步行通勤的比例

增加。

3.4 建成环境高效益单元识别

根据关键变量促进绿色出行结构的经验敏感度高,识别建成环境高效益单元:①保障性住房和回迁指标房空间单元为公交站点建设高效益空间单元;②市场商品房空间单元为公共服务设施建设高效益空间单元;③保障性住房和混合住房空间单元为土地利用混合度调整高效益单元;④剔除已覆盖轨道站点区域的小产权房空间单元为轨道站点建设高效益空间单元。各建成环境高效益单元分布如图5所示。

结合现有的深圳市城市空间规划和建成环境情况,对不同住房类型空间单元采取不同建成环境规划发展策略,精准引导居民采用更加绿色的通勤方式结构,可获得更高效益。



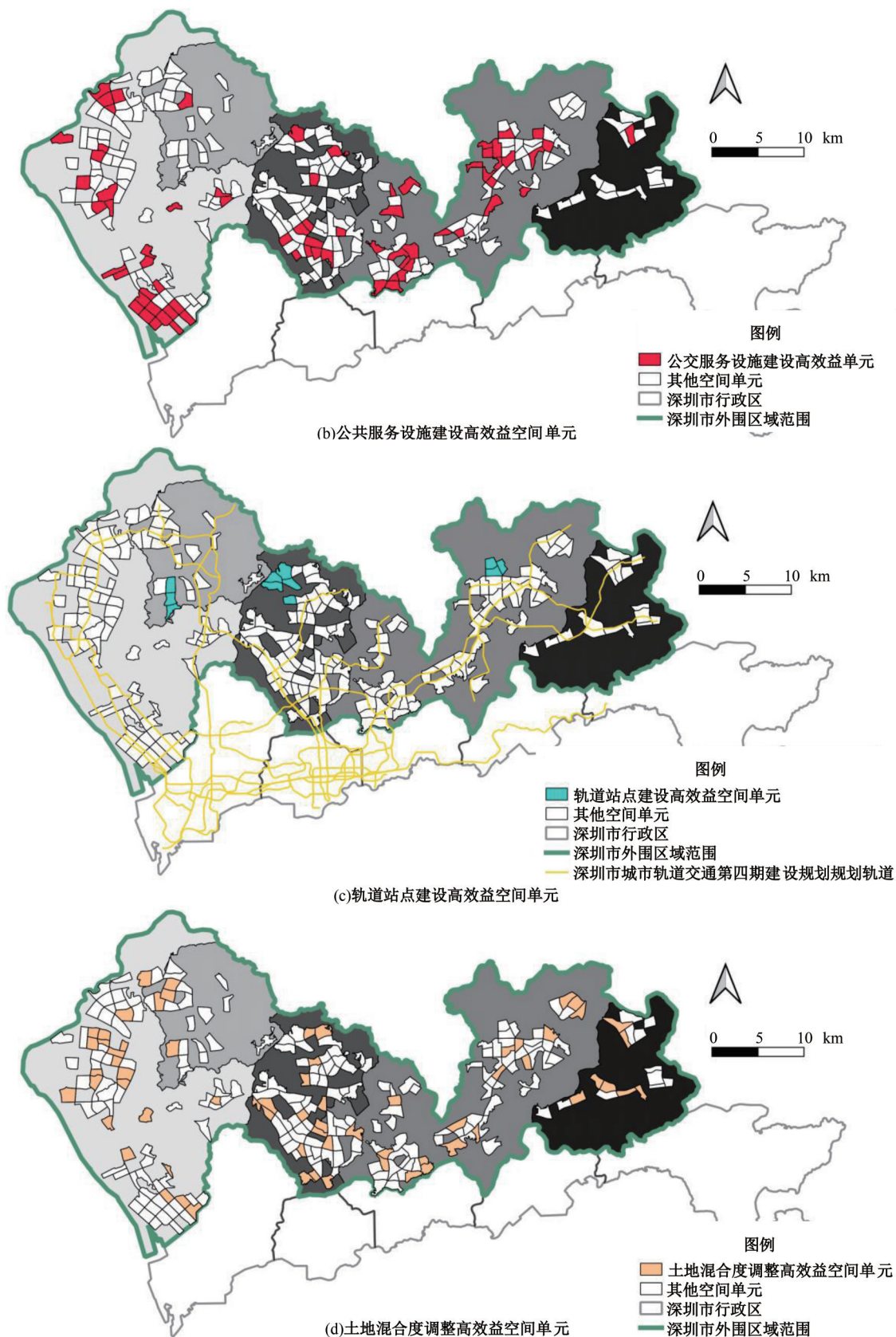


图 5 建成环境建设高效益空间单元

Fig. 5 Built environment construction high benefit space units

4 结 论

(1)相比于传统的多项 Logit 模型,混合 Logit 模型能够更加准确地揭示各因素对居民通勤方式选择的作用,也具有更好的拟合效果和应用场景。本文将空间单元人口密度因素和城市轨道交通相关的建成环境因素纳入了混合 Logit 模型,不同的人口密度和公共交通发达程度会影响模型中居民对通勤方式的选择,本研究团队已采用上海数据验证了该模型的思路,因此,研究方法和结果具备一定的可移植性,可以为其他具备城市轨道的城市区域提供参考。

(2)住房类型空间单元的划分能够减小建成环境对不同住房类型空间单元人群通勤方式选择影响的估计偏差。

(3)不同住房空间单元对建成环境变化导致的通勤方式选择变化的经验敏感度不同。市场商品房空间单元对公共服务设施密度变化的敏感度较高;保障性住房空间单元对公交站密度、到最近公交站点距离、到深圳市中心距离、路网密度和人口密度变化的敏感度较高;小产权房空间单元对到轨道站点距离变化的敏感度较高;回迁指标房空间单元对公交站点密度变化的敏感度较高;混合住房空间单元对土地利用混合度的敏感度较高。

(4)改善高效益空间单元的建成环境能够更加精准地引导居民转向绿色通勤结构。识别出公交站点建设、公共服务设施建设、轨道站点建设和土地混合度调整的高效益空间单元,通过优先改善高效益空间单元的建成环境,能够更加差异化且精准地引导不同住房空间单元的居民转向更加绿色的通勤方式,优化出行结构,提升城市绿色交通占比。

参考文献:

- [1] Handy S L, Boarent M G, Ewing R, et al. How the built environment affects physical activity: views from urban planning[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2002, 23(2): 004750.
- [2] Reid E, Robert C. Travel and the built environment [J]. Journal of the American Planning Association, 2010, 76(3): 265-294.
- [3] 张延吉, 胡思聪, 陈小辉, 等. 城市建成环境对居民通勤方式的影响——基于福州市的经验研究[J]. 城市发展研究, 2019, 26(3): 72-78.
- Zhang Yan-ji, Hu Si-cong, Chen Xiao-hui, et al. The impact of urban built environment on residential choice of commuting mode: based on empirical research in Fuzhou[J]. Urban Development Studies, 2019, 26(3): 72-78.
- [4] 尹超英, 邵春福, 王晓全. 考虑停车可用性的建成环境对小汽车通勤出行的影响[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2019, 49(3): 714-719.
- Yin Chao-ying, Shao Chun-fu, Wang Xiao-quan. Influence of urban built environment on car commuting considering parking availability[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2019, 49(3): 714-719.
- [5] 黄勇, 赵航, 许旺土, 等. 建成环境与高收入群体出行模式关系研究[J]. 公路交通科技, 2022, 39(1): 106-113.
- Huang Yong, Zhao Hang, Xu Wang-tu, et al. Study on relationship between built environment and high income group travel mode[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2022, 39(1): 106-113.
- [6] Yin C Y, Shao C F, Wang X Q. Exploring the impact of built environment on car use: does living near urban rail transit matter? [J]. Transportation Letters, 2020, 12(6): 391-398.
- [7] Chen F A, Wu J R, Chen X H, et al. Disentangling the impacts of the built environment and residential self-selection on travel behavior: an empirical study in the context of diversified housing types[J]. Cities, 2021, 116: 103285.
- [8] 全照民, 安睿, 刘耀林. 建成环境对居民通勤方式选择的影响——以武汉市城中村为例[J]. 地理科学进展, 2021, 40(12): 2048-2060.
- Tong Zhao-min, An Rui, Liu Yao-lin. Impact of the built environment on residents' commuting mode choices: a case study of urban village in Wuhan City [J]. Progress in Geography, 2021, 40(12): 2048-2060.
- [9] 王婷婷. 我国城镇居民住房财富分化的程度、特征及其影响研究[D]. 上海: 上海师范大学商学院, 2014.
- Wang Ting-ting. Research on the degree, characteristics and impact of housing wealth differentiation of Chinese urban residents[D]. Shanghai: School of Finance and Business, Shanghai Normal University, 2014.
- [10] Liu C, Sun Y, Yuan C, et al. The effect of residential housing policy on car ownership and trip chaining

- behaviour in Hangzhou, China[J]. *Transportation Research Part D*, 2018, 62: 125-138.
- [11] 尹超英,陆颖,邵春福,等. 考虑空间自相关的建成环境对通勤方式选择的影响[J]. *吉林大学学报:工学版*, 2023, 53(7): 1994-2000.
- Yin Chao-ying, Lu Ying, Shao Chun-fu, et al. Impacts of built environment on commuting mode choice considering spatial autocorrelation[J]. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 2023, 53(7): 1994-2000.
- [12] 柳文燕. 基于不同收入群体的城市居民出行行为分析[D]. 兰州: 兰州交通大学交通运输学院, 2020.
- Liu Wen-yan. Analysis of travel behavior of urban residents based on different income groups[D]. Lanzhou: School of Transportation, Lanzhou Jiaotong University, 2020.
- [13] 黄梓卫. 深圳市国土空间规划标准单元制度研究[J]. *城市学刊*, 2021, 42(6): 40-45.
- Huang Zi-wei. Study on standard unit system of spatial planning of national land in Shenzhen City[J]. *Journal of Urban Studies*, 2021, 42(6): 40-45.
- [14] 张娜. 深圳南山区居住小区建成环境对居民出行行为影响研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学建筑学院, 2014.
- Zhang Na. Effects of residential quarters built environment on residents travel behavior in Nanshan District, Shenzhen[D]. Harbin: School of Architecture, Harbin Institute of Technology, 2014.
- [15] 黄毅熠,齐涛,胡灯进,等. 小尺度海域空间评价单元划分技术研究——以福建省东山湾为例[J]. *生态学报*, 2021, 41(2): 707-716.
- Huang Yi-yi, Lin Tao, Hu Deng-jin, et al. The spatial division approach of evaluation units in fine-scale sea area: a case study of Dongshan Bay, Fujian Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(2): 707-716.
- [16] 王嘉玥. 基于Logit模型与经验敏感度的学生通勤方式选择行为研究[D]. 北京: 北京交通大学交通运输学院, 2019.
- Wang Jia-yue. Study on students' commute mode choice behavior based on logit model and empirical sensitivity[D]. Beijing: School of Transportation, Beijing Jiaotong University, 2019.