

# 广州市居民工作日小汽车出行个体与社区 双层影响机制

周素红<sup>1,2</sup>, 宋江宇<sup>1,2</sup>, 宋广文<sup>1,2</sup>

(1. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275;

2. 广东省城市化与地理环境空间模拟重点实验室, 广州 510275)

**摘要:** 小汽车出行与建成环境的关系是城市研究中的热点问题, 已有的研究主要分别关注个人社会经济属性与建成环境对小汽车出行的影响。近年来, 在中国城市转型的背景下, 社会空间分异受到关注, 越来越多的研究表明, 居民个人社会经济属性与社区建成环境及社区类型间存在关系, 考虑三者如何共同对小汽车出行的影响具有一定的现实意义。因此, 本文构建包含个体层社会经济属性和社区层建成环境与社区类型的多层Logit模型对工作日小汽车出行方式的影响因素进行分析。研究发现居民个人的社会经济属性和其所居住社区建成环境同时对小汽车出行的选择起作用, 且这两层因素的影响与社区类型紧密相关, 出行方式差异有76.32%是由社区因素的差异造成。个人社会经济属性因素方面, 更高的文化水平、更高的个人月收入水平、非集体单位性质和家庭存在更多未成年孩子的居民工作日小汽车使用率较高; 社区建成环境因素方面, 提高建筑密度、用地混合度、商业可达性和公交站点密度会降低社区居民工作日出行使用小汽车的可能, 而社区周边更高的POI密度则会增多居民对小汽车的使用。两类因素关系背后的机制在于伴随着市场力量对城市居住空间重构影响的增强, 相似社会经济属性的居民会倾向选择同一类型社区, 而相同类型社区拥有相似的建成环境。这些结论有助于进一步了解城市居民工作日小汽车出行背后的影响因素及机制, 并为通过对相同类型社区多层因素的调节来改变居民出行方式结构, 进而缓解交通问题提供了借鉴。

**关键词:** 小汽车出行; 建成环境; 多层Logit模型; 社区类型; 广州

DOI: 10.11821/dlxb201708009

## 1 引言

随着中国大城市规模的扩大、空间的重构、以及居民经济收入的不断攀升, 小汽车保有量呈现高速的增长趋势。2012年末, 广州拥有汽车总量达到269.5万辆, 全市民用汽车保有量达到204.16万辆, 比上年末增长9.9%<sup>[1]</sup>。小汽车保有量的快速增长导致了城市交通拥挤、环境污染等一系列问题, 严重挑战城市的可持续发展, 也影响城市居民的生活质量。因此, 深入探讨城市居民选择小汽车出行的影响因素和机制, 将为优化交通规划和管理提供科学的支持。

收稿日期: 2016-07-12; 修订日期: 2017-01-19

**基金项目:** 国家自然科学基金优秀青年基金项目(41522104); 国家自然科学基金重点项目(41531178); 中央高校基本科研业务费专项资金(15lgjc24) [Foundation: Excellent Youth Scientist Program of National Natural Science Foundation of China, No.41522104; Key Program of National Natural Science Foundation of China, No.41531178; Fundamental Research Funds for the Central Universities, No.15lgjc24]

**作者简介:** 周素红(1976-), 女, 博士, 教授, 主要研究方向城市地理学、时空间行为和城乡规划。

E-mail: eeszsh@mail.sysu.edu.cn

城市居民出行与建成环境的关系是城市研究中的重要领域, 以往的研究更多关注城市宏观层面因素与居民日常出行的关系<sup>[2-3]</sup>, 普遍认为更紧凑的发展模式使得城市内部通勤距离缩短, 有利于降低居民出行对小汽车的依赖<sup>[4]</sup>; 城市空间结构, 特别是居住与就业空间的关系对居民出行方式选择具有一定影响<sup>[5-7]</sup>。为了进一步为相关规划政策的制定提供参考, 减少居民对小汽车出行的依赖, 近年来, 中微观的城市建成环境以及居民自选择对出行的影响受到重视<sup>[8-9]</sup>, 小汽车出行的影响因素是本领域讨论的重点之一。

总体上, 对于小汽车出行影响因素的研究主要存在两方面争论。一部分学者认为, 城市居民出行方式受出行者及其家庭社会经济因素的影响。个人社会经济属性决定了出行者对交通方式选择的偏好和支付能力<sup>[10-11]</sup>, 不同生命周期影响个人出行方式<sup>[12]</sup>。研究关注女性、老年人以及低收入群体等特定群体在出行方面受到的机会剥夺和空间限制<sup>[13-17]</sup>; 同时出行者所在家庭的社会经济属性对个人产生约束, 影响出行方式的选择<sup>[18-19]</sup>。其他学者则认为居民出行方式受建成环境的影响。由于建成环境中诸如容积率、建筑密度、设施可达性等可作为城市规划管理中的可控因素, 研究其与小汽车出行的关系, 可作为调节交通的有效手段, 近年来逐渐受到关注<sup>[9, 20]</sup>, 基于此, 已有研究通常从密度 (density)、混合度 (diversity)、设计 (design)、公交邻近度 (distance to transit) 和目的可达性 (destination accessibility) 等5个方面归纳描述建成环境<sup>[8, 21-23]</sup>。一些研究发现, 居住地人口密度越高, 居民选择小汽车通勤方式的可能性减小<sup>[24]</sup>, 居住地不同的土地混合程度以及街道十字路口比重等因素也会对小汽车出行的选择造成影响<sup>[25-26]</sup>。

然而, 建成环境与城市居民的社会经济属性是否同时对居民出行方式的选择产生影响? 两方面因素之间是否存在互动关系? “自选择”理论从一定程度上表明具有特定社会经济属性的城市居民拥有相应的出行偏好, 其在选择住房时会更多考虑具有能够满足其偏好的建成环境的居住社区<sup>[27-28]</sup>。但已有研究表明, 在中国环境下“自选择”并不能够解释观察到的出行行为分异<sup>[28-29]</sup>, 建成环境与社区有着较为复杂的关系<sup>[30-31]</sup>。住房供给系统和居民的可支付能力让居民的住房选择和出行模式选择受到更多约束。伴随着市场化和住房改革的不断推进, 社会空间重构下<sup>[32-33]</sup>城市居民出行方式是否因逐渐自由的居住社区选择以及不同居住社区的建成环境而发生分异? 处于相同社区个体间是否会因为居住社区这一重要的地理背景导致出行方式的选择上有较高的趋同性, 出现出行方式选择的“背景效应” (contextual effects)?

为回答上述问题, 有必要构建适合的方法模型将个体和社区两层因素对小汽车出行的影响放在同一框架下进行分析。由于影响城市居民小汽车出行的社会经济属性因素是个体层面的非集计数据, 而建成环境因素则往往通过社区层面体现, 以往研究更多采用传统回归方法控制一方面因素来突出另一方面因素的作用<sup>[34-35]</sup>, 割裂了两方面因素的关系, 且无法表征小汽车出行的社区分异。加上居民出行数据获取多是建立在分层抽样的方法基础上, 不可避免地存在嵌套的多层数据结构, 使得传统单一层次估计方法出现偏差<sup>[36-37]</sup>。多层模型能够度量小汽车出行在社区层面的差异, 寻找居民小汽车出行是否存在“背景效应”, 并寻求解释个体层小汽车出行的斜率和截距变异的社区层背景变量, 得出相应变量对小汽车出行背景效应和社区分异的解释程度, 既体现两层变量的互动关系, 也关注小汽车出行影响的社区分异及社区内部“邻里效应” (neighborhood effects)。

工作日城市居民出行频繁导致交通问题普遍突出, 因此, 本文以广州市为例, 构建多层Logit模型研究工作日居民小汽车出行的影响因素、不同层因素间的互动关系及背后的机制, 对转型背景下中国如何应对小汽车迅速增长的政策制定具有一定的现实意义。

2 数据与方法

2.1 研究区域与数据

研究区域为广州市辖区范围（除增城、从化以外），包括天河区、越秀区、海珠区、番禺区、荔湾区、黄浦区、花都区及白云区等8个区，样本涵盖广州市传统旧城区、城市商业地区、城市郊区地区等18个社区（图1）。为保证样本社区抽样过程的随机性和代表性，通过因子生态分析法对广州进行社会区划分<sup>[32]</sup>，再在不同类型社会区中选择典型样本社区。具体步骤为：首先，以社区居委会为基本单元，选择住房面积、住房月租金、住房产权类型和住户职业类型等反映住房和住户社会经济属性的广州市第六次人口普查中的30个指标，运用主成分分析归纳为8个主因子（购买商品房的机关单位人员，自建住房人员，旧单位社区人员，低租金的非在业人员，月租金较高的其他人员，商业服务业从业人员，保障性住房住户和超大户型的其他住户）。其次，根据主因子得分进行聚类，将广州划分为四类不同的社会区（旧城旧机关类社会区，商业类社会区，高教育旧单位类社会区和郊区类社会区）。最后，在不同类型的社会区中，选择相关主因子得分排序靠前、特征值最突出的社区作为本次问卷调查的抽样调查社区，并在社区内进行随机入户调查（表1）。

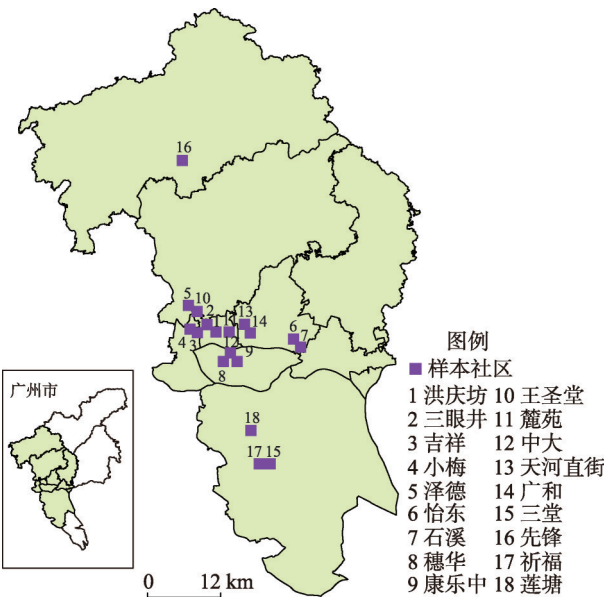


图1 研究区域区位图  
Fig. 1 The location of the study area

表1 研究区域社区类型及特征  
Tab. 1 The types and attributes of the study area

社区类型	特征	典型社区
旧城旧机关社区	旧城社区、旧机关人口和老龄非在业人口比例高	洪庆坊、三眼井、吉祥、小梅、泽德
商业社区	外来人口集中，城市商业从业人口及保障性住房集中	石溪、怡东、穗华、康乐中、王圣堂
高教育旧单位社区	旧单位社区、教育水平高	麓苑、中大、天河直街、广和
郊区社区	近郊住宅区、购房或自建住房集中	三堂、先锋、祈福新村、莲塘

本研究基于2013年《城市居民日常出行调查问卷》，调查时间为2013年4月-6月，在全市范围内总计回收有效问卷1604份，每份问卷记录了居民工作日一整天的活动日志。有出行日志并符合本研究的问卷1171份，共得到4055条出行活动记录，每条记录都有个人社会经济属性及相应的出行方式，包括步行、自行车、公共汽车、地铁、轮渡、单位小汽车、私家车、出租车等，和所在社区的建成环境与社区类型。本文所述的小汽车出行包括单位小汽车、私家车和出租车等出行方式，运用其他工具的出行定义为非小汽车出行。

建成环境变量包括容积率、建筑密度、人口密度、用地混合度、POI密度、商业可达性和公交站点密度等。数据来源为广州市2010年第六次人口普查数据，广州市兴趣点（Point of Interest, POI）数据和广州市土地利用调查数据。建成环境虽有一些调整，但总

体相对稳定, 且建成环境对小汽车出行具有滞后性影响, 因此, 采用的建成环境数据满足因果关系作用探讨的合理性。人口密度为社区常住人口除以社区面积; POI密度为社区周边 1000 m 半径缓冲区内所有兴趣点的密度; 公交站点密度为社区周边 1000 m 半径缓冲区内所有公交车站的密度; 商业可达性选取距离社区最近的 3 个商业中心来衡量, 商业网点的选取参考《广州市大型零售商业网点发展规划(2011-2020)》, 具体计算公式为:

$$Center\_access = \sum_{j=1}^k (1/d_j^2) \quad (1)$$

式中:  $d_j$  为样本社区到商业中心  $j$  的最短路径;  $k = 3$ ; 土地利用混合度代表了社区周边 1000 m 范围内的商住混合情况, 参考已有研究<sup>[38]</sup>, 具体计算公式为:

$$Landuse\_mix = (1 - \frac{u}{u+T}) \times (1 - \frac{|\frac{r}{T} - \frac{1}{3}| + |\frac{c}{T} - \frac{1}{3}| + |\frac{o}{T} - \frac{1}{3}|}{4/3}) \quad (2)$$

$$T = r + c + o$$

式中:  $r$ 、 $c$ 、 $o$ 、 $u$  分别为社区周边半径 1000 m 范围内居住用地、商业金融用地、其他建设用地和非建设用地的面积;  $Landuse\_mix$  值为 0 代表社区周边 1000 m 范围只有一种土地利用功能, 值为 1 表示居住用地、商业金融用地和其他建设用地比例相同。

## 2.2 研究方法

本文希望探讨城市居民工作日小汽车出行是否既受到出行居民个人属性的影响, 又受其所在社区建成环境与社区类型的影响。文中的 18 个社区的居民日常活动出行数据, 个人属性嵌入在社区属性中, 且因变量(出行方式)是二分类变量, 即小汽车出行或非小汽车出行, 多层 Logit 模型能够解决这一特点的数据分析, 有效避免传统回归方法的估计偏差; 也便于描述出行方式的背景效应及社区变量对个体出行社区分异的解释程度<sup>[36-37]</sup>。

多层 Logit 模型有多种参数设置, 针对本文的研究问题和实际情况, 不同社区关于小汽车出行的回归线拥有不同的斜率和不同的截距, 在多层模型的个体层随机效应模型中将斜率和截距设为随机参数。同时本研究关注不同社区小汽车出行的差异(截距的不同), 并寻找社区层能够解释这种差异的变量, 因此将个体层得出的截距看作随机系数, 添加社区层的解释变量。斜率并不添加解释变量, 仍然保持随机, 设为随机成分的固定参数。本文借助 HLM 软件来完成多层模型, 模型采用限制性极大似然(restricted maximum likelihood)估计(也称为收缩估计), 回归系数采用双尾  $t$  检验, 方差/协方差部分采用卡方检验。多层模型由于分两层, 拟合度衡量较为复杂, 采用方差缩减比例来近似估计模型拟合度, 类似单一层次回归中的  $R^2$ <sup>[36-37]</sup>。

多层模型具体形式为:

第一层模型:

$$\text{Prob}(Y_{ij} = 1/\beta_j) = \Phi_{ij} \quad (3)$$

$$\log[\Phi_{ij}/(1 - \Phi_{ij})] = \eta_{ij} \quad (4)$$

$$\eta_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} \times X_{ij} + r_{ij} \quad (5)$$

因此, 综合完整模型为:

$$\eta_{ij} = \log[\Phi_{ij}/(1 - \Phi_{ij})] = \beta_{0j} + \beta_{1j} \times X_{ij} + r_{ij} \quad (6)$$

第二层模型:

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01}W_{ij} + u_{0j} \quad (7)$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10} + u_{1j} \quad (8)$$

因此, 综合为:



$$\log[\Phi_{ij}/(1-\Phi_{ij})]=(\gamma_{00}+\gamma_{01}W_{ij}+\gamma_{02}X_{ij})+(u_{0j}+u_{ij}X_{ij}+r_{ij})$$

(9)

式中： $\log[\Phi_{ij}/(1-\Phi_{ij})]$ 为选择不同出行方式比值的自然对数；带下标*i*的表示为个体层的参数和变量，带下标*j*的表示为社区层的参数和变量； $\eta_{ij}$ 为第*j*个社区第*i*个个体的出行方式状况； $X_{ij}$ 为第*j*个社区第*i*个个体影响小汽车出行发生的社会经济属性变量； $W_{ij}$ 为社区层影响小汽车出行发生的社区层变量；个体层随机截距（ $\beta_{0j}$ ）被处理为社区层解释变量的线性函数；随机斜率（ $\beta_{ij}$ ）设为随机系数；（ $\gamma_{00}+\gamma_{01}W_{ij}+\gamma_{02}X_{ij}$ ）和（ $u_{0j}+u_{ij}X_{ij}+r_{ij}$ ）分别是模型的固定成分和随机成分。通过式（5）看出个人社会经济属性对小汽车出行的影响，通过式（7）和式（8）可得社区层变量对个体社会经济属性和小汽车出行的作用，从而得到式（9）出行者个人社会经济属性、所在社区属性与小汽车行为之间的多层级作用关系。

本文希望通过多层模型探讨几个问题：① 哪些个体层解释变量影响小汽车出行？是如何影响的？② 哪些社区层解释变量影响小汽车出行？是如何影响的？③ 小汽车出行是否存在社区间差异？个体层解释变量和小汽车出行之间的关系是否随个体所处的社区地理背景的特征变化而变化？④ 哪些社区背景变量能够解释小汽车出行在社区地理背景下的分异？解释程度如何？相应地，多层Logit模型分为3个步骤：① 构建空模型判断因变量是否存在显著的层间变异；② 构建随机效应模型，判断个体层变量对因变量的影响显著程度及个体层变量对因变量的影响是否存在层间差异；③ 通过完整模型来判断控制条件下各层自变量对因变量分别作用程度，以及第二层变量对于第一层变异所反映背景效应的解释程度。

3 广州市居民工作日小汽车出行特征描述

根据问卷数据，运用交叉表对出行者不同社会经济属性、所在不同类型社区及不同建成环境下小汽车出行情况做描述性统计。结果显示，广州市居民选择小汽车出行与个人社会经济属性、居住地建成环境，以及居住社区类型均有密切关系。

3.1 居民个人社会经济属性与出行方式

出行者不同的社会经济属性反映了其所处在不同的生命周期，有着不同的支付能力、选择偏好和需求，在出行选择和出行偏好上存在差异<sup>[35, 39]</sup>。从表2看出，不同的个人属性，对应的出行方式差异是明显的。男性小汽车的出行比例明显高于女性；已婚居民小汽车出行的比例几乎是未婚居民出行的两倍；家庭未成年人数多的家庭，出行更倾向于使用小汽车；对于个人月收入，在1000元以下的居民几乎不使用小汽车出行，1000~7999元的居民出行使用小汽车率大约在10%，而8000元以上的居民小汽车出行比率较高。

表2 不同个人属性对应工作日出行方式比例

Tab. 2 The proportion of trip modes of different personal attributes in working-day activities

变量		小汽车出行数	小汽车出行比例(%)
性别	男	248	14.55
	女	198	8.43
婚姻状况	已婚	411	11.77
	未婚	35	6.23
家庭未成年人个数	0	68	4.23
	1	281	13.44
	2	91	26.38
	3	6	46.15
个人月收入(元)	1000以下	0	0
	1000~3999	263	9.25
	4000~7999	97	11.89
	8000以上	86	22.63
全样本		446	11.00

3.2 不同社区类型及建成环境与出行方式

一些研究表明不同的社区由于社会分异和区位差异，导致不同社区间居民出行方式的分异<sup>[3, 38]</sup>。由表3可得，不同社区之间的出行方式差异显著，小汽车出行比例跟社区类型密切相关。同时不同社区类型的建成环境存在差异，与出行方式有一定关系。可以看出工作日出行旧城旧机关社区、商业社区小汽车出行比例极低，小于3%；高教育旧单位社区居民小汽车出行比率较前两者高，而郊区社区居民工作日出行小汽车出行比例最高，超过30%。从建成环境上看，位于中心城区的社区的人口密度、用地混合度、商业可达性和公交站点密度均大于郊区社区，而小汽车出行比例低于郊区社区；而位于中心城区的社区中，除去旧城旧机关社区拥有更高的容积率和人口密度外，其余的建成环境指标均较为接近。

表3 不同类型社区建成环境对应出行方式比例  
Tab. 3 The proportion of trip modes of different communities with different built environments

社区类型		容积率	人口密度 (万人/km <sup>2</sup> )	用地混合度	商业可达性	公交站点密度 (个/km <sup>2</sup> )	小汽车出行 数(辆)	小汽车出行 比例(%)
旧城旧机关社区	平均值	3.61	4.33	0.57	1.02	0.26	30	2.14
	标准差	0.56	1.91	0.57	0.51	0.07		
商业社区	平均值	2.31	2.91	0.60	0.77	0.18	10	1.27
	标准差	0.60	1.43	0.16	0.88	0.05		
高教育旧单位社区	平均值	2.93	2.91	0.66	1.02	0.26	63	8.33
	标准差	2.80	0.52	0.07	0.27	0.04		
郊区社区	平均值	1.54	1.13	0.48	0.21	0.14	343	30.79
	标准差	0.93	0.91	0.12	0.17	0.07		

上述分析表明，不同个人社会经济属性对应不同出行方式，不同类型社区之间呈现明显的出行方式分异，郊区社区同非郊区社区的建成环境存在差异，即城市居民工作日小汽车出行表现出个体间与社区间的差异。这两层因素之间是否存在关联？

4 广州市居民工作日出行方式多层因素影响模型及机制分析

为了更好地分析不同因素对城市居民工作日小汽车出行的影响，后文借助多层Logit模型，探讨工作日小汽车出行的影响因素在个体层面和社区层面的差异及其背后的机制。

4.1 影响变量的选取

参考相关研究<sup>[9, 23-25, 35]</sup>，本文将个体层面变量作为第一层，包括社会经济状况、家庭状况2个方面的10项指标。社区层面变量作为第二层，包括密度、混合度、目的可达性、公交临近度和社区类型5个方面的9项指标，由于反映设计方面的交叉口密度指标与公交站点密度存在较强的共线性，而公交站点密度对居民小汽车出行选择的影响更加直接，故剔除了交叉口密度指标。社区类型设为虚拟变量，以高教育旧单位社区为参照类。模型指标如表4所示。

4.2 城市居民工作日小汽车出行多层因素影响模型

4.2.1 模型1：工作日小汽车出行影响空模型 在构建完整模型之前，需要建构两层均没有解释变量的工作日小汽车出行影响空模型。空模型通过方差贡献可以确定工作日居民出行方式在社区内相关程度，同时表征小汽车出行的社区层变异是否显著。如表5所

表 4 居民工作日小汽车出行影响多层因素指标及描述性统计  
Tab. 4 The descriptive statistics of the variables in the dataset in the study

层次	类别	指标	定义	均值	标准差	样本数
个体 层次	个人社会 经济属性	出行方式	非小汽车出行=0, 小汽车出行=1	0.11	0.31	4055
		性别	女=0, 男=1	0.42	0.49	4055
		文化程度	不识字=1, 初识字=2, 小学=3, 初中=4, 高中=5, 大专、大学本科=6, 研究生以上=7	5.09	0.92	4055
		年龄	单位: 岁	38.74	9.91	4055
		婚姻状况	未婚=0, 已婚=1	0.86	0.35	4055
		在广州居住时间	单位: 年	28.91	16.95	4055
		个人月收入水平	1000 元以下=1, 1000~3999 元=2, 4000~7999 元=3, 8000 元以上=4	2.38	0.66	4055
		单位性质	机关=1, 事业单位=2, 国有企业=3, 集体单位=4, 股份制企业=5, 港澳台及外商投资企业=6, 私营企业=7, 个体经济=8	5.81	2.12	4055
	家庭属性	全家广州居住人数	单位: 个	3.28	1.06	4055
		全家未成年人数	单位: 个	0.70	0.63	4055
		房屋建筑面积	单位: m <sup>2</sup>	73.23	45.72	4055
社区 层次	建成环境	建筑密度	单位: %	26.78	12.33	18
		用地混合度		0.58	0.12	18
		POI 密度	单位: 个/km <sup>2</sup>	8.34	3.97	18
		商业可达性		2.09	1.27	18
		公交站点密度	单位: 个/km <sup>2</sup>	0.21	0.08	18
	社区类型	旧城旧机关社区				5
		商业社区				5
		高教育旧单位社区				4
		郊区社区				4

示, 由工作日出行小汽车出行影响空模型结果计算组间相关系数 (ICC) 为 0.76, 表明不同社区的居民工作日小汽车出行存在显著的差异, 出行方式变异中有 76.32%是由社区的差异造成的, 其余 23.68%的变异来自于人口的个人属性及其家庭状况。因此, 有必要对工作日出行小汽车出行状况进行多层模型分析。

4.2.2 模型 2:仅包含个体层次变量的工作日小汽车出行影响因素模型

工作日小汽车出行影响空模型说明出行者所在社区层因素是导致城市居民工作日出行方式差异的主要原因, 出行者的个体层因素也占一定比例。对仅包含第一层变量的居民小汽车出行影响模型进行分析, 考察城市居民个体社会经济属性变量对工作日出行方式的作用。该模型中个体层变量设为自变量, 是否小汽车出行设为因变量, 检验二者的相关性, 并检验所有个体变量的斜率和截距在社区层上的变异。参数估计结果如表 6 所示。

表 5 工作日出行小汽车出行选择影响因素空模型的方差估计

Tab. 5 Variance component of variables of car use on weekdays in the Null Model			
层次	方差	ICC 指数	卡方检验
个体层次	0.90	0.24	—
社区层次	2.90	0.76	1567.44***

注: \*\*\*:  $p < 0.01$ 。

表6 仅包含第一层变量的基本工作日出行小汽车出行影响因素模型  
Tab. 6 The effect model on car use on weekdays without community variables

类别	变量	固定部分			随机部分	
		回归系数	OR 值	T 检验	方差成分	卡方检验
基本 状况	截距	-5.20	0.01	-6.86***	9.26	4686.81***
	性别	0.21	1.23	0.52	3.76	66.84***
	文化程度	0.61	1.84	1.86*	1.49	110.16***
	年龄	-0.06	0.94	-0.87	0.06	88.35***
	婚姻状况	-0.88	0.42	-0.84	11.73	111.52***
	在广州居住时间	0.03	1.03	1.00	0.01	132.98***
	个人月收入水平	1.72	5.56	1.92*	1.08	172.44***
	单位性质	0.25	1.28	2.76**	0.14	90.74***
家庭 状况	全家在广州居住人数	0.06	1.06	0.21	0.033	65.81***
	全家未成年人数	1.19	3.28	2.97***	0.16	108.34***
	房屋建筑面积	0.02	1.02	3.04***	0.00	157.92***

注：\*：p < 0.1；\*\*：p < 0.05；\*\*\*：p < 0.01。

(1) 个人社会经济属性影响因素。文化程度对小汽车出行产生显著的正向作用，文化程度每提高一个层级，居民小汽车使用的发生比是原来的1.84倍。可能的原因是高文化程度的居民从事高技术、管理类的工作可能性大，需要使用小汽车来增加通勤时空间的弹性，另一方面高文化程度居民对文化知识活动方面需求较大，借助小汽车能够增大可达性。个人月收入水平是显著的正向预测因子，工作日出行中个人收入水平每增长一个层级，小汽车使用的发生比是原来的5.56倍。小汽车的购置、保养以及油费是需要一定的收入基础才能够承担的，因此收入显著影响小汽车出行的选择。单位性质，从事业机关单位到国企集体单位，再到个体、私营，居民上班出行小汽车使用发生比后者是前者的1.28倍。由于中国特有的单位制的影响，在单位的居民有较小的职—住距离，通常通过步行或自行车即可完成上班出行，同时在这样的“单位”社区中，公共服务设施较为完善，步行范围即可完成大部分的维持活动。但与已有研究不同的是，在性别方面并没有显示出对小汽车出行选择显著的影响，越来越多的女性倾向使用小汽车出行。

(2) 家庭状况影响因素。全家未成年人数与选择小汽车出行具有正向关系，工作日出行中居民每多一个未成年小孩，小汽车使用发生比是原来的3.28倍。这说明居民更愿意使用小汽车接送小孩，使出行更具舒适性并节约时间。虽然家庭房屋面积与选择小汽车出行也显示有正向关系，但其发生比接近为1。房屋面积对小汽车出行的影响可能是双重的。一方面房屋面积是所在小区设施状况的一个反映，房屋面积大的小区一般配有较为完备的停车等设施，使得居民更容易趋向使用小汽车；另一方面房屋面积大的居民一般已经拥有小汽车，生活方式稳定的情况下很难会更多使用小汽车，而房屋小的居民可能会购置小汽车从而增大小汽车使用率。

**4.2.3 模型3：加入社区层建成环境变量的工作日小汽车出行影响因素完整模型** 模型的随机部分方差全部显著，意味着个体层变量的影响在社区层面上存在显著的分异，建立包括社区层建成环境变量的工作日出行方式影响因素模型，在截距部分增加社区层建成环境解释变量，所有显著变量设随机成分的固定参数，检验不同社区建成环境因素对小汽车出行背景效应及社区间差异的解释程度，分析结果如表7所示。

分析结果表明，建成环境因素显著影响居民工作日小汽车出行。在密度方面，建筑



表 7 社区层建成环境变量对工作日小汽车出行影响因素模型  
Tab. 7 The effect model of community built environment variables on car use on weekdays

预测变量		固定部分			随机部分	
		回归系数	OR 值	t 值	方差	卡方值
截距		2.20	9.02	1.83 <sup>*</sup>	7.28	3021.42 <sup>***</sup>
建成环境	建筑密度	-0.03	0.97	-6.70 <sup>***</sup>		
	用地混合度	-12.88	0.00	-5.15 <sup>***</sup>		
	POI 密度	0.52	1.68	5.60 <sup>***</sup>		
	商业可达性	0.65	1.92	2.05 <sup>**</sup>		
	公交站点密度	-20.3	0.00	-5.18 <sup>***</sup>		

注：<sup>\*</sup>：p < 0.1；<sup>\*\*</sup>：p < 0.05；<sup>\*\*\*</sup>：p < 0.01。

密度与小汽车出行呈显著负相关关系，但发生率差异并不大，可能原因在于高密度地区地铁和公交服务相对密集，可分流一部分原本打算小汽车出行的居民。混合度方面，用地混合度是显著的负影响因子，居住社区周边用地混合度越高，居民出行小汽车出行发生率变得越低。社区周边用地混合度越高，越能促进社区居民的职住平衡进而减少小汽车出行。且用地混合度越大，土地功能越丰富，居民的大部分维持活动都能够社区周边范围内进行，大大降低了要通过使用小汽车到远处完成维持活动的需求；POI 密度高的社区，居民更倾向于选择小汽车出行，POI 密度每增加一个单位，小汽车出行发生率增加 68%，这与西方发达国家的研究 POI 密度越大，土地越混合进而减少小汽车出行的结论不同<sup>[24]</sup>，可能因为本研究 POI 密度更体现为设施密度尤其是商业设施密度，其值越大，社区周边设施吸引力越强，增加了小汽车使用的概率，使得 POI 密度对小汽车出行的综合影响效应为正。同时也说明 POI 密度对小汽车出行的正向效应通过其他诸如居民的社会经济属性偏好等渠道作用，因此多层模型分析更显必要。目的可达性方面，商业可达性对小汽车出行正向显著影响，居住地社区商业可达性每增加一个单位，居民小汽车出行发生率接近为原来的 2 倍，原因在于随着居住社区商业可达性的提高，增加居民驾驶小汽车到附近商业中心完成诸如买菜、购买生活用品、吃饭等活动的次数。公交临近度方面，公交站点密度系数为负且统计显著，居住社区周边公交站点密度越高，居民工作日出行小汽车使用比变得极低。更高的公交站点密度，使得居民出行使用公交来得更加便捷，同时，面向公交的友好设计，抑制了小汽车出入社区及行驶容易性，从而降低小汽车的使用比。

对比工作日小汽车出行方式模型 2 的原始方差 9.26 和模型 3 的条件方差 7.28，方差缩减比例指数为 0.2138，即使用小汽车的发生概率的平均水平在不同社区间 21.38% 的变异被社区层建成环境的相关变量解释。社区层建成环境一定程度上解释个体层小汽车出行在不同社区间差异的社区背景效应。

**4.2.4 模型 4：加入社区层社区类型变量的工作日小汽车出行影响因素完整模型** 从加入社区建成环境的模型可以看出，模型建成环境变量对居民小汽车出行的社区差异有一定解释度，但并未解释完全。社区类型变量反映居住区分异，因此在模型 2 基础上单独将社区类型设为虚拟变量，以高教育旧单位社区为参照类，建立包括社区层社区类型的工作日出行方式影响因素模型，检验不同社区类型是否对居民小汽车出行有显著影响及社区类型对个体层截距变异的解释程度，分析结果如表 8 所示。

由表 8 可知，社区类型对居民工作日小汽车出行影响显著，以高教育旧单位社区为参照类，商业社区里的居民工作日小汽车出行发生比最低，不到高教育旧单位社区居民

表8 社区类型对工作日小汽车出行影响因素模型  
Tab. 8 The effect model of community types on car travel of working-day activities

预测变量		固定部分			随机部分	
		回归系数	OR 值	t 值	方差	卡方值
截距		-4.17	0.02	-8.17***	1.96	595.82***
社区类型	旧城旧机关社区	-0.95	0.39	-5.49**		
	商业社区	-2.63	0.07	-3.32**		
	郊区社区	2.18	8.81	10.26***		

注：\*：  $p < 0.1$ ；\*\*：  $p < 0.05$ ；\*\*\*：  $p < 0.01$ 。

的10%；住在旧城旧机关社区居民上班出行小汽车使用发生比为高教育旧单位社区居民的39%，住在郊区社区居民的小汽车使用发生比为高教育旧单位社区的8.81倍。对比工作日出行方式模型的原始方差9.26和模型4的条件方差1.96，使用小汽车的发生概率的平均水平在不同社区间78.83%的变异被社区类型变量解释。可见，社区间的出行分异已经凸显，城市居民小汽车的发生概率在出行者个人社会经济属性上的差异能够在很大程度上被社区类型解释，即选择小汽车出行的居民会倾向于居住在相同类型的社区中，造成社区间的出行分异。社区类型对于居民出行方式社区背景效应的解释程度（78.83%）相较社区建成环境的解释程度（21.38%）更大，说明就出行方式而言，居民选择社区不仅仅考虑建成环境，还有考虑与工作地的距离，社区名声以及社区区位等因素。

4.3 城市居民工作日小汽车出行影响机制框架

上述分析表明，工作日城市居民小汽车出行受个人层面社会经济属性因素、社区层面的建成环境因素和反映社会区特征的社区类型因素的共同影响，且两层因素间存在关系及相互作用机制。

首先，显著影响小汽车出行方式的个人社会经济属性因素同影响社区分异的住房面积、住房月租金、住房产权类型和住户职业类型等因素有很强的耦合性，因此出现不同类型居住社区间明显的小汽车出行分异。

其次，在中国特有的制度历史环境和社会经济转型背景下，建成环境与社区类型有着复杂的关系<sup>[31]</sup>。在计划经济时期的单位制度下，单位职工的住房、生活福利、养老、医疗、子女入学、就业问题等统一由所在单位承担和管理，因此建成环境根据所在单位大院配套，而同一单位的成员社会经济属性之间异质性小<sup>[5, 30]</sup>。虽然目前单位制的影响受住宅商品化的淡化，但原单位社区在一定时期内仍对建成环境起到约束作用。另一方面，伴随着住房的市场化和货币化，居住区分异已经形成<sup>[32-33]</sup>，相似社会经济属性的居民在价格杠杆作用下会选择居住在具有类似建成环境的居住社区里，并且社区建成环境会依据所住居民的需求不断调整。

因此，对于工作日小汽车选择影响因素，出行者社会经济属性与其所住社区建成环境的关系背后的机制在于，相似社会经济属性的居民会倾向选择同一类型社区，而相同类型社区拥有相似的建成环境（图2）。但就小汽车出行影响而言，居民选择社区不仅仅考虑建成环境，还有考虑与工作地的距离，社区名声以及社区区位等因素。

5 结论与讨论

5.1 结论

特大城市交通问题是世界范围内普遍存在的问题，对小汽车出行方式影响因素及其

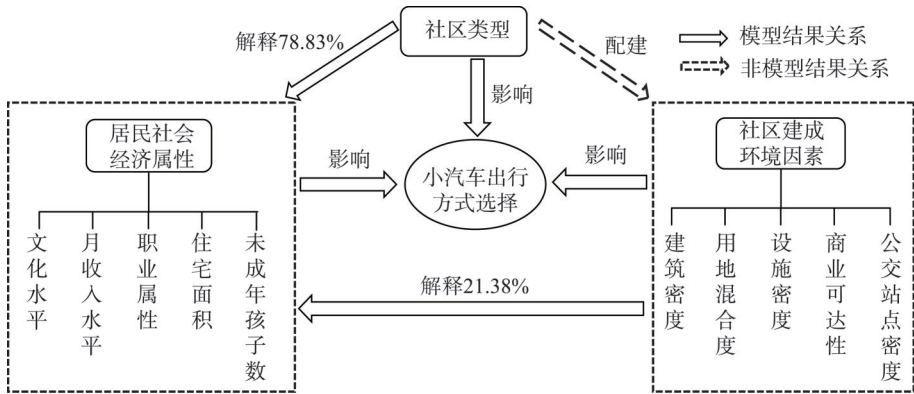


图2 工作日小汽车出行选择影响机制图

Fig. 2 The influence mechanism on car travel of working-day activities

机制的研究对解决交通问题提供了理论支撑。国内外缺乏从社区层和个体层共同作用的角度探究居民出行方式影响因素的研究，本文基于广州市居民日常出行活动的入户调查问卷，构建两层变量互动的多层Logit模型，分析居民工作日小汽车出行的影响因素及机制。研究发现：

① 工作日城市居民小汽车出行社区间分异明显，同时受个体层因素与社区层因素影响，社区层因素影响比例更大，受到明显的地理背景效应的作用。② 对于影响居民工作日出行方式的两层因素，个体社会经济因素方面，更高的文化水平、更高的个人月收入水平、非集体单位性质和家庭存在更多未成年孩子的居民工作日小汽车使用率较高；社区建成环境因素方面，提高建筑密度、用地混合度、商业可达性和公交站点密度会降低社区居民工作日出行使用小汽车的可能，而社区内更高的POI密度却会增多居民对小汽车的使用。③ 社区层面因素，建成环境因素和社区类型因素均在一定程度上解释个体层小汽车出行社区变异的背景效应（建成环境因素解释社区间21.38%个体出行方式的变异，社区类型因素解释社区间变异达78.83%），其中社区类型因素的解釋程度更好，即住在相同类型社区中的居民在出行方式选择上更加趋同，而社区类型表征的是社会分异。

5.2 讨论

本文研究结论对城市规划和管理采取相应措施来缓解交通问题有一定启示和实践意义。首先，不同类型社区内居民工作日小汽车出行分异明显，解决出行交通问题有必要从过去关注道路或城市分区尺度转到关注社区尺度。其次，在相关规划、政策中通过限制或引导社区层面的因素（如建筑密度、公交车站密度、用地混合度等），来降低小汽车出行比例的措施在中国背景下同样适用，同时更加需要关注相同类型社区建成环境因素的调整。另外，出行者不同社会经济属性使用小汽车的发生概率一部分能够被社区建成环境因素解释，但其背后的机制在于相似社会经济属性的居民会倾向选择同一类型社区，而相同类型社区拥有相似的建成环境。最后，工作日居民出行方式分异与社会空间分异有很强的耦合性，应当充分考虑中国城市社会空间分异与重构的背景，才能对居民出行行为的研究有更深刻和全面的理解。

本文也存在一些不足。首先，在文中更多侧重出行者所居住社区的属性，对于活动目的地的属性状况特别是工作地建成环境缺乏分析；其次，探讨建成环境对小汽车出行的影响没有深入分析居民的主动选择效应，还需结合更多维度进一步改进。另外，模型方面也只是对截面数据做了分析。

## 参考文献(References)

- [1] Guangzhou Transport Planning Research Institute. Guangzhou Transport Development Annual Report 2013. 2013. [广州市交通规划研究所. 2013广州城市交通运行报告. 广州市交通规划研究院. 2013.]
- [2] Zhou Suhong, Yan Xiaopei. The relationship between urban structure and traffic demand in Guangzhou. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 130-141. [周素红, 闫小培. 广州城市空间结构与交通需求关系. *地理学报*, 2005, 60(1): 130-141.]
- [3] Zhou Suhong, Yan Xiaopei. The impact of commuters' travel pattern on urban structure: A case study in some typical communities in Guangzhou. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(2): 179-189. [周素红, 闫小培. 基于居民通勤行为分析的城市空间解读: 以广州市典型街区为案例. *地理学报*, 2006, 61(2): 179-189.]
- [4] Chatman D G. How density and mixed uses at the workplace affect personal commercial travel and commute mode choice. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2003, 1831(1): 193-201.
- [5] Wang D, Chai Y. The jobs-housing relationship and commuting in Beijing, China: The legacy of Danwei. *Journal of Transport Geography*, 2009, 17(1): 30-38.
- [6] Zhou Suhong, Yang Lijun. Study on the spatial characteristic of commuting in Guangzhou. *Urban Transport of China*, 2005, 3(1): 62-67. [周素红, 杨利军. 广州城市居民通勤空间特征研究. *城市交通*, 2005, 3(1): 62-67.]
- [7] Sun Bindong, Pan Xin, Ning Yuemin. Analysis on influence of job-housing balance on commute travel in Shanghai. *Urban Planning Forum*, 2008 (1): 77-82. [孙斌栋, 潘鑫, 宁越敏. 上海市就业与居住空间均衡对交通出行的影响分析. *城市规划学刊*, 2008(1): 77-82.]
- [8] Cao Xinyu. Examining the relationship between neighborhood built environment and travel behavior: A review from the US perspective. *Urban Planning International*, 2015, 30(4): 46-52. [曹新宇. 社区建成环境和交通行为研究回顾与展望: 以美国为鉴. *国际城市规划*, 2015, 30(4): 46-52.]
- [9] Sun Bindong, Dan Bo. Impact of urban built environment on residential choice of commuting mode: A case study of Shanghai. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(10): 1664-1674. [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. *地理学报*, 2015, 70(10): 1664-1674.]
- [10] Limtanakool N, Dijst M, Schwanen T. The influence of socioeconomic characteristics, land use and travel time considerations on mode choice for medium-and longer-distance trips. *Journal of Transport Geography*, 2006, 14(5): 327-341.
- [11] Zhou Suhong, Deng Lifang. Spatio-temporal pattern of residents' daily activities based on T-GIS: A case study in Guangzhou, China. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(12): 1454-1463. [周素红, 邓丽芳. 基于T-GIS的广州市居民日常活动时空关系. *地理学报*, 2010, 65(12): 1454-1463.]
- [12] Gu Jie, Zhou Suhong, Yan Xiaopei. The space-time paths of residential mobility in Guangzhou from a perspective of life course. *Geographical Research*, 2013, 32(1): 157-165. [古杰, 周素红, 闫小培. 生命历程视角下的广州市居民居住迁移的时空路径. *地理研究*, 2013, 32(1): 157-165.]
- [13] Kwan M P. Gender and individual access to urban opportunities: A study using space-time measures. *Professional Geographer*, 1999, 51(2): 210-227.
- [14] Chai Yanwei, Wen Guilan, Liu Zhilin. Feminist geographical research on the behavior spaces of female residents in Chinese cities. *Human Geography*, 2003, 18(4): 1-4. [柴彦威, 翁桂兰, 刘志林. 中国城市女性居民行为空间研究的女性主义视角. *人文地理*, 2003, 18(4): 1-4.]
- [15] Shergold I, Lyons G, Hubers C. Future mobility in an ageing society: Where are we heading? *Journal of Transport & Health*, 2015, 2(1): 86-94.
- [16] Zhou S, Deng L, Kwan M P, et al. Social and spatial differentiation of high and low income groups' out-of-home activities in Guangzhou, China. *Cities*, 2015(45): 81-90.
- [17] Srinivasan S, Rogers P. Travel behavior of low-income residents: Studying two contrasting locations in the city of Chennai, India. *Journal of Transport Geography*, 2005, 13(3): 265-274.
- [18] De Jong G C. An indirect utility model of car ownership and private car use. *European Economic Review*, 1990, 34(5): 971-985.
- [19] Gliebe J P, Koppelman F S. A model of joint activity participation between household members. *Transportation*, 2002, 29(1): 49-72.
- [20] Zhao P. The impact of the built environment on individual workers' commuting behavior in Beijing. *International Journal*



- of Sustainable Transportation, 2013, 7(5): 389-415.
- [21] Cervero R, Kockelman K. Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 1997, 2(3): 199-219.
- [22] Ewing R, Cervero R. Travel and the built environment: A meta-analysis. *Journal of the American Planning Association*, 2010, 76(3): 265-294.
- [23] Frank L D, Engelke P, Schmid T. Health and community design: The impacts of the built environment on physical activity. Washington, DC: Island Press, 2003.
- [24] Cervero R. Mixed land-uses and commuting: Evidence from the American housing survey. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 1996, 30(5): 361-377.
- [25] Acker V V, Witlox F. Commuting trips within tours: How is commuting related to land use? *Transportation*, 2011, 38(3): 465-486.
- [26] Zhang M. The role of land use in travel mode choice: Evidence from Boston and Hong Kong. *Journal of the American Planning Association*, 2004, 70(3): 344-360.
- [27] Cao X, Fan Y. Exploring the influences of density on travel behavior using propensity score matching. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2012, 39(3): 459-470.
- [28] Wang D, Lin T. Residential self-selection, built environment, and travel behavior in the Chinese context. *Journal of Transport and Land Use*, 2014, 7(3): 5-14.
- [29] Naess P. Residential location, travel, and energy use in the Hangzhou metropolitan area. *Journal of Transport and Land Use*, 2010, 3(3): 27-59.
- [30] Wang D, Chai Y, Li F. Built environment diversities and activity-travel behavior variations in Beijing, China. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(6): 1173-1186.
- [31] Chai Yanwei, Liu Zhilin, Li Zhengrong, et al. Time-space Structure of Chinese Cities. Beijing: Peking University Press, 2002: 1-3. [柴彦威, 刘志林, 李峥嵘, 等. 中国城市的时空结构. 北京: 北京大学出版社, 2002: 1-3.]
- [32] Xu Xueqiang, Hu Huaying, Yeh A G O. A factorial ecological study of social spatial structure in Guangzhou. *Acta Geographica Sinica*, 1989, 44(4): 385-399. [许学强, 胡华颖, 叶嘉安. 广州市社会空间结构的因子生态分析. 地理学报, 1989, 44(4): 385-399.]
- [33] Zhou Chunshan, Luo Renze, Dai Dandan. Evolution and mechanism of the residential spatial structure from 2000 to 2010 in Guangzhou. *Geographical Research*, 2015, 34(6): 1109-1124. [周春山, 罗仁泽, 代丹丹. 2000-2010年广州市居住空间结构演变及机制分析. 地理研究, 2015, 34(6): 1109-1124.]
- [34] Tana, Chai Yanwei, Kwan M P. The relationship between the built environment and car travel distance on weekdays in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(10): 1675-1685. [塔娜, 柴彦威, 关美宝. 建成环境对北京市郊区居民工作日汽车出行的影响. 地理学报, 2015, 70(10): 1675-1685.]
- [35] Wang Fenglong, Wang Donggen. Characteristics and determinants of car use in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(6): 771-781. [王丰龙, 王冬根. 北京市居民汽车使用的特征及其影响因素. 地理学报, 2014, 69(6): 771-781.]
- [36] Zhang Lei, Lei Li, Guo Boliang, et al. *Applied Multilevel Data Analysis*. Beijing: Educational Science Publishing House, 2003. [张雷, 雷雳, 郭伯良. 多层线性模型应用. 北京: 教育科学出版社, 2003.]
- [37] Xu Y, Wen M, Wang F. Multilevel built environment features and individual odds of overweight and obesity in Utah. *Applied Geography*, 2014, 60: 197-203.
- [38] Rajamani J, Bhat C R, Handy S, Knaap G and Song Y. . Assessing impact of urban form measures on nonwork trip mode choice after controlling for demographic and level-of-service effects. *Transportation Research Record*, 2003(1831): 158-165.

## Examining the dual-levels impact of neighbourhood and individual variables on car use on weekdays in Guangzhou

ZHOU Suhong<sup>1,2</sup>, SONG Jiangyu<sup>1,2</sup>, SONG Guangwen<sup>1,2</sup>

(1. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Guangdong Key Laboratory for Urbanization and Geo-simulation, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** The relationship between car travel and built environment is one of the hot issues in the urban studies. The existing researches mainly focus on the respective effects on car travel of individual demographic variables and built environment variables on car travel. Under the background of China's urban transformation and the social space differentiation, a growing number of scholars have examined the relationship between residents' demographics and their residential built environment. Quantifying the relative roles of the individual social attributes and the built environment in influencing car travel has a policy implication. This study applied a multilevel logit model which contains individual-level variables and neighbourhood-level variables to explore the impact on car use. It is concluded that urban residents' working-day car travel is influenced by multilevel variables associated to neighbourhood types. Most of the variation in the travel mode choice is caused by the difference among neighbourhoods. Travel mode choices have a strong neighbourhood contextual effect on car travel. As for the individual level, lower income and education level, collective unit profession, less minors in a family may help refrain the choice of automobile travel. As for the community level, improving bus stops density, building density, land mixing degree and commercial accessibility may help reduce car use ratio of working-day activities' travel. The mechanism of the relationship between two kinds of variables lies in the strength of market effect on urban residential space reconstruction. The residents who have similar social and economic attributes tend to choose the same type of neighbourhood, which has a similar built environment. These conclusions help us to have a better understanding of the mechanism behind the urban residents' working-day car travel and provide suggestions to alleviate the traffic problem by adjusting the multilevel variables in the similar type of community.

**Keywords:** car travel; built environment; multilevel logit model; neighbourhood type; Guangzhou