

# 基于结构方程模型的城市居民出行方式选择研究

郭季, 罗明杰, 崔姗姗, 陈诺  
(长安大学汽车学院, 陕西 西安 710064)

**摘要:** 研究居民的出行方式是优化出行结构、科学制定交通需求管理措施的前提。目前针对居民出行方式选择的研究多集中在个人属性和出行特征方面, 没有考虑交通供给水平和城市规模的影响。文中在山西太原、运城和吕梁 3 个规模不同的城市进行居民出行调查, 选取个人属性、出行偏好、出行特性、交通供给水平、城市规模和出行方式作为变量, 构建居民出行方式选择结构方程模型进行出行行为研究, 为交通部门制定交通需求管理政策和优化居民出行结构提供依据。结果表明, 经济特征对个人属性的影响最大, 经济条件越好的出行者越有可能选择私家车出行; 公共交通供给越充足或停车位供给越少, 居民越有可能选择公交车出行; 出行偏好期望越高、出行距离越远、出行次数越多的居民选择私家车的概率越大; 高峰期出行和工作出行时选择公共交通的概率更大; 大城市居民相比中小城市居民更倾向于私家车出行。

**关键词:** 城市交通; 出行方式; 交通需求管理; 结构方程模型(SEM)

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)02-0030-06

随着中国经济水平的提升, 机动化水平不断提高, 快速增加的交通出行需求与相对滞后的道路交通资源产生冲突, 道路拥堵加剧。引导居民出行向公共交通方式转移, 是交通需求管理中平衡交通供需矛盾的重要手段。对城市居民出行行为进行研究, 掌握其出行规律和出行方式选择机理, 是科学制定交通政策和有效实施交通需求管理的出发点。

许多研究认为, 出行者自身属性、外部交通环境和出行活动等因素都会影响出行方式选择。如关金平等考虑个人属性和出行类型因素, 采用混合 Logit 模型研究了上海城市外围居住区居民的出行方式; 宗芳等将居民出行方式选择因素归纳为出行者属性、出行属性和交通工具属性三类, 采用 Logistic 模型进行标定, 预测居民的出行行为; Chen H. 等建立民工出行方式选择多项 Logit 模型, 分析影响民工出行方式选择的因素; 刘炳恩等建立居民出行方式选择 MNL 模型, 其中纳入了个人属性、交通工具拥有水平及出行距离、时间、费用变量; 包丹文等利用居民出行时间、距离、费用和个人属性数据建立了考虑停车收费的出行方式选择 MNL 模型。以上研究使用非集计模型揭示了影响居民出行方式的多方面因素, 但传统的非集计模型处理多因素问题时难以识别变量间的内在关系, 且存在假设任意两种交通方式选择概率比与其他交通方式无关的特性 (IIA 特性)。结构方程模型 (SEM) 可同时描述多变量的复杂因果关系, 还能避免 IIA 特性, 被广泛应用于出

行行为研究。如 Ding C. 等构建出行行为 SEM, 将个人属性和建筑环境设为外生变量, 将小汽车拥有量与出行特性设为内生变量; 周钱等提出个人特征—活动参与—出行行为的 SEM 模型结构, 将出行次数和出行链设为内生变量; 张萍等建立相似的 SEM 结构, 外生变量中考虑出行者的个人家庭属性和居住区位, 内生变量考虑活动参与和出行特征; 程龙等以低收入通勤者为对象建立 SEM, 探讨个人社会经济属性和出行活动对出行方式的影响; 曹小曙等建立居民出行选择 SEM, 将个人和家庭社会经济属性设为外生变量, 出行时段、目的、强度和出行方式设为内生变量; Han Y. 等在构建 SEM 中除考虑个人属性和出行生成外, 还加入安全性、舒适性、方便性、灵活性、经济性 5 个因素; 除个人社会经济属性外, 尹静利用计划行为理论和规范激活模型构建出行方式选择 SEM; Ingvardson J. B. 等在 SEM 中加入满意度指标, 研究居民公交乘坐频率的影响因素; 严海等则分析了经济水平、公交服务水平、停车满意度对居民选择公交车和私家车的影响。上述研究主要考虑出行者属性和出行属性对居民出行方式选择的影响, 忽略了公共交通、停车位等交通服务或设施的供给水平的影响, 且研究区域局限于单体城市, 没有针对不同规模的城市进行对比分析。该在上述研究的基础上, 在 3 座不同规模的城市进行居民出行调查, 利用 SEM 对居民出行方式选择影响因素进行研究。

## 1 基于 SEM 的城市居民出行方式分析

由于影响居民出行的各类因素存在复杂的关系,引入 SEM 进行分析。

### 1.1 SEM 的基本原理

SEM 是结合因子分析和路径分析的多元统计技术,在分析潜在变量和多输入变量的关系时具有显著优势。一个完整的 SEM 由若干测量模型和结构模型组成,其中测量模型[见式(1)、式(2)]描述观测变量与其从属的潜在变量之间的关系,结构模型[见式(3)]描述潜在变量之间的关系。

$$X = \Lambda_X \xi + \delta \quad (1)$$

$$Y = \Lambda_Y \eta + \epsilon \quad (2)$$

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta \quad (3)$$

式中: $X$  为  $\xi$  的观察变量向量; $\Lambda_X$  为  $\xi$  与  $X$  之间的关系矩阵; $\xi$  为外生潜在变量向量; $\delta$  为  $X$  变量的测量误差向量; $Y$  为  $\eta$  的观测变量向量; $\Lambda_Y$  为  $\eta$  与  $Y$  之间的关系矩阵; $\eta$  为内生潜在变量向量; $\epsilon$  为  $Y$  变量的测量误差向量; $B$  为内生潜在变量系数矩阵; $\Gamma$  为外生潜在变量与内生潜在变量间系数矩阵; $\zeta$  为结构模型的残差向量,即模型无法解释的部分。

### 1.2 SEM 的估计和评价方法

结构方程模型的拟合目标是使所得参数的残差平方和最小,若拟合函数记为  $F(S, \sum(\theta))$ ,则求使  $F(S, \sum(\theta))$  取得最小值的参数  $\hat{\theta}$ 。当前研究中模型的参数估计方法有最大似然估计法(ML)、一般化最小方法(GLS)、未加权最小方法(ULS)、加权最小方法(WLS)、无标度最小方法等。其中 ML 最常用,它要求样本为连续变量且服从正态分布。而

出行方式研究中使用的变量多为有序分类变量,不适用上述条件。ULS 法是运用量尺单位依赖法的估计方法,对变量分布不作要求,且适用于分类变量。因此,采用 ULS 法对模型进行参数估计。

模型评价的目的是验证所构建模型假设的解释能力。ULS 估计方法的模型评价指标有拟合适配度  $GFI$ 、调整适配度  $AGFI$ 、残差均方和平方根  $RMR$ 。其中:

(1)  $GFI$  表示观察矩阵  $S$  中方差与协方差可被复制矩阵  $\hat{\Sigma}$  预测得到的量,其值为  $0 \sim 1$ ,越接近 1,表示模型适配度越好,一般  $GFI$  大于 0.90 则表示模型的路径图与实际数据拟合较好。

(2)  $AGFI$  为调整后的拟合适配度,它不受单位影响,其值为  $0 \sim 1$ ,越接近 1,表示模型适配度越好,一般  $AGFI$  大于 0.90 则表示模型的路径图与实际数据拟合较好。

(3)  $RMR$  等于适配残差方差协方差的平均值的平方根,反映矩阵间残差的大小,一般其值小于 0.080 则表示模型可接受。

### 1.3 理论模型的构建与假设

在既有研究的基础上,选取个人属性、出行偏好、出行特性、城市规模、交通供给作为变量,根据变量是否被其他变量所影响划分外生变量和内生变量。假设个人属性、交通供给和城市规模独立且不受其余因素影响,则设为外生变量;出行偏好、出行特性和出行方式受到外生变量的影响,设为内生变量。以上 6 个变量均为不可直接测量的潜在变量,需使用若干可观测的变量来反映(见表 1)。

表 1 模型变量的假设

变量类型	潜在变量	观测变量
外生变量	个人属性	性别、年龄、职业、月收入、有无 IC 卡、有无私家车
	交通供给	出发地公交线网密度、目的地公交线网密度、目的地是否有停车场
	城市规模	城市规模
内生变量	出行偏好	经济性、安全性、快速性、方便性、舒适性、准时性
	出行特性	出行距离、日出行次数、是否高峰期出行、是否工作出行
	出行方式	出行方式

假设选取的外生变量和内生变量存在影响关系,每个外生变量都会影响内生变量,内生变量之间也存在影响关系(见图 1)。模型变量之间的相互影响关系描述如下:

(1) 个人属性影响居民的出行偏好、出行特性和出行方式(H1~H3)。

(2) 城市规模影响居民的出行偏好、出行特性和出行方式(H4~H6)。

(3) 交通供给影响居民的出行偏好、出行特性和出行方式(H7~H9)。

(4) 出行偏好影响居民的出行方式和出行特性(H10、H11)。

(5) 出行特性影响居民的出行方式(H12)。

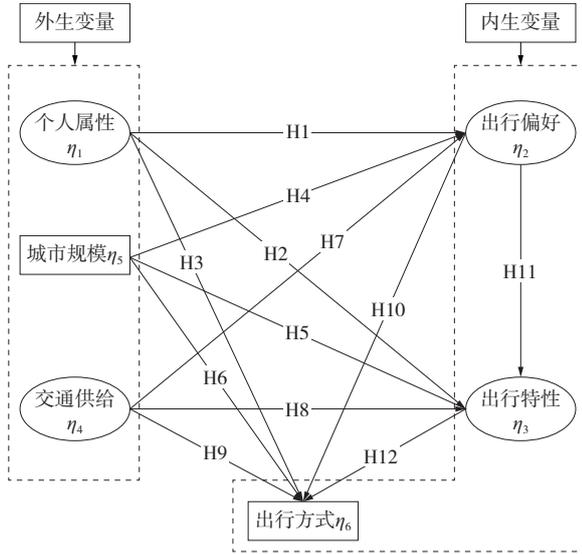


图1 理论模型的假设

## 2 数据来源与分析

### 2.1 问卷设计

根据 SEM 模型的构建需求设计居民出行行为调查问卷,获取个人社会经济属性、出行偏好、出行特性、交通供给水平、所在城市规模和选择的出行方式等(见表 2)。其中:

(1) 出行者的社会经济属性包括性别、年龄、职业、月收入、是否有 IC 卡和是否有私家车。

(2) 出行偏好包含出行者对经济性、安全性、快速性、方便性、舒适性和准时性的重视程度。

(3) 出行特性是与实际出行生成有关的属性,包括每日出行次数、出行距离(短、中、长距离,在大城市分别以 5 和 10 km 划分,在中小城市分别以 3 和 6 km 划分)、是否高峰期(工作日的 7:00—9:00 和 17:00—19:00)出行和是否工作出行。

(4) 交通供给水平包括出发地和目的地的公交线网密度及目的地停车场供应条件。

(5) 城市规模依据国发[2014]51 号《国务院关于调整城市规模划分标准的通知》划分。

(6) 出行方式分为慢行、公共交通和私人交通三类。

### 2.2 问卷调查与分析

2017 年 7 月 13—26 日,在山西省太原市、运城市 and 吕梁市进行问卷调查。根据国发[2014]51 号《国务院关于调整城市规模划分标准的通知》,这 3 座城市分别属于大、中、小城市。为保证数据的可靠性,调查点选取不同城市功能区:在太原市选取 5 个调查地点,包含 1 个住宅区、1 个工业区和 3 个商业区;在运城市和吕梁市各选取 3 个调查地点,包含住宅区、工业区和商业区各 1 个。以随机抽样的方式向出行者发放调查问卷,共发放问卷 2 200 份,回收 1 722 份,回收率 78.3%,其中有效问卷 1 705 份,有效率 77.5%。

表 2 问卷调查题目和选项

类别	问题	描述
个人属性 $\eta_1$	性别	0=女;1=男
	年龄	实际值
	职业	1=事业单位职员;2=企业职员;3=学生;4=个体经营者;5=其他
	月收入	1=2 000 元内;2=2 001~3 000 元;3=3 001~4 000 元;4=4 001~5 000 元;5=5 001~8 000 元;6=8 001 元以上
	有无 IC 卡	0=无;1=有
出行偏好 $\eta_2$	有无私家车	0=无;1=有
	交通工具费用低很重要(经济性)	0=否;1=是
	交通工具安全保障很重要(安全性)	0=否;1=是
	交通工具耗时短很重要(快速性)	0=否;1=是
	交通工具的可达性很重要(方便性)	0=否;1=是
	交通工具乘坐舒适很重要(舒适性)	0=否;1=是
	交通工具能按时到达很重要(准时性)	0=否;1=是

续表 2

类别	问题	描述
出行特性 $\eta_3$	日均出行次数	1=3次及以下;2=4~6次;3=7次及以上
	当次出行距离	1=短距离;2=中距离;3=长距离
	是否为高峰期出行	0=否;1=是
	是否为工作出行	0=否;1=是
交通供给 $\eta_4$	出发地公交线网密度	1=低;2=中;3=高
	目的地公交线网密度	1=低;2=中;3=高
	目的地是否有停车场供应	0=否;1=是
城市规模 $\eta_5$	城市规模	1=小城市;2=中等城市;3=大城市
出行方式 $\eta_6$	出行方式	1=慢行交通(步行、自行车、非机动车); 2=公共交通(公交车、出租车);3=私人交通

按居民的个人属性和选择的出行方式对样本进行统计,个人属性分布见图2。从性别来看,调查样本中男性占40%,女性占60%,女性样本多于男性。年龄分布中,18岁以下占12%,19~25岁占36%,26~40岁占31%,41~60岁占16%,60岁以上占5%,大多数受访者集中于19~40岁,占总人数的2/3,这与3座城市的人口组成结构有关,也可能是因为青壮年群体出行频率更高,在随机发放调查问卷时受访的概率更大。职业分布中,公务员和事业单位员工占19%;企业员工在所有职业中占比最高,占33%;学生占20%;个体经营者最低,仅7%;还有21%由其他职业组成。按收入划分,月收入低于3000元的低收入人群占比最大,占62%;3001~5000元的人群占35%;高于5000元的群体最少,仅占3%。有无IC卡的两类居民比例相当,49%的受访者持有IC卡,51%无IC卡。从车辆拥有水平看,45%的受访者至少有1辆小汽车,55%的受访者无私家车。

市具有完善的公共交通网络,与私家车相比,乘坐公共交通出行更方便、经济;吕梁市的城市规模小,慢行交通占比高,压缩了私家车出行比例。

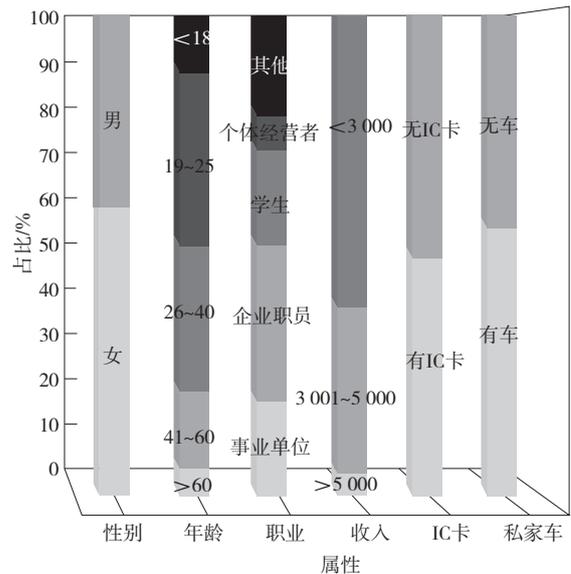


图2 调查样本的个人属性分布

在三类出行方式中,选择公共交通出行的人群所占比例最大,为57%;慢行交通占28%;私人交通最少,仅有15%。3座城市居民首选出行方式的占比见图3。

从图3可看出:1) 随着城市规模的增大,选择慢行交通出行的比例下降,而选择公共交通出行的比例增加。其原因在于,与太原市相比,吕梁市的城市规模小,居民的平均出行距离短,慢行交通以其方便性在这样的小城市被广泛使用;大城市的公共交通系统更发达和完善,且居民的出行距离较远,居民更偏向于使用公共交通出行。2) 太原市、吕梁市的私家车出行比例均低于运城市,其原因可能是太原

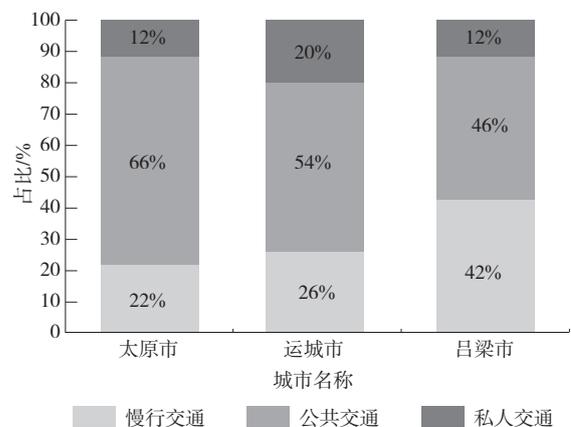


图3 不同城市居民首选出行方式的占比

### 3 结果分析与讨论

#### 3.1 模型检验

根据上述假设关系构建居民出行方式选择 SEM 模型,使用 AMOS22.0 软件进行参数估计,根据模型结果的 Modification Indices 指标修正建议,删除 2 条不显著路径 H8 和 H9,最终模型结果见图 4。

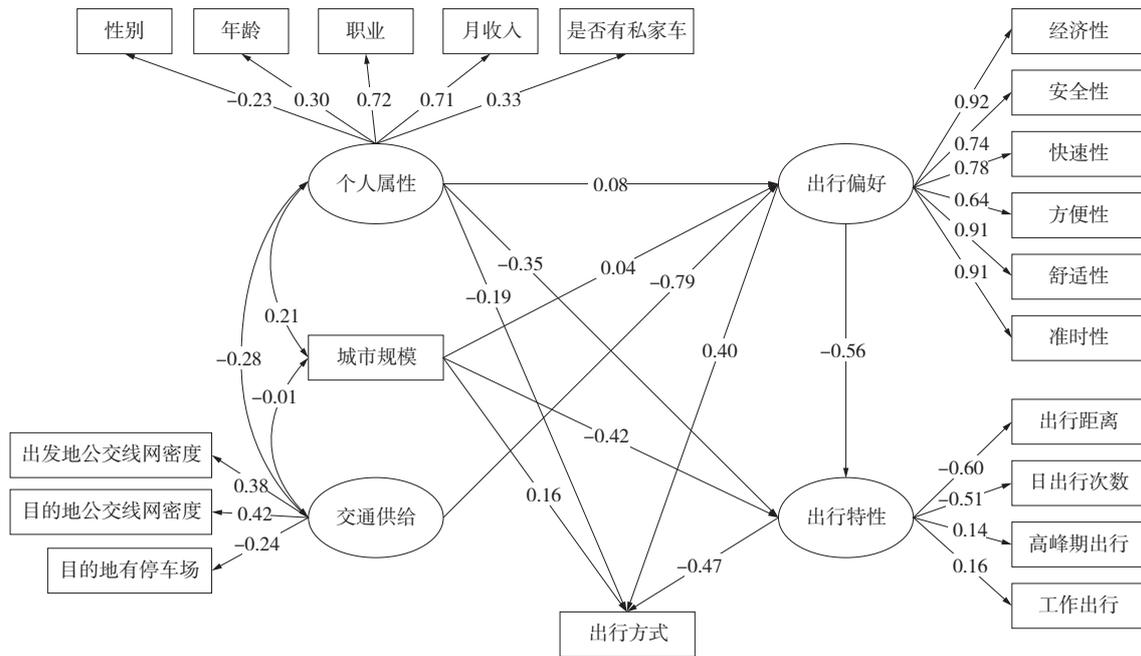


图 4 标准化模型路径系数

表 3 模型适配度检验结果

指标	检验结果	可接受范围
<i>GFI</i>	0.969	>0.900
<i>AGFI</i>	0.96	>0.900
<i>RMR</i>	0.064	<0.080

由图 4 可知:

(1) 个人属性对出行特性和出行方式的影响较显著。个人属性主要被职业、月收入、是否有私家车、年龄及性别 5 个因素解释。职业和月收入对个人属性的载荷系数最高,其次为是否有私家车,这 3 个变量均与个体的经济水平相关,表明经济水平对个人出行行为的影响超过性别、年龄等固有属性。与严海等的结论一致,即个体的经济水平会对出行方式选择产生根本性的影响。个人属性对出行特性和出行方式的总影响效应(即自变量至因变量的所有通路的路径载荷系数乘积的代数和)分别为  $-0.39$

使用 *GFI*、*AGFI* 和 *RMR* 3 个评价指标对该模型的适配度进行检验,结果见表 3。从检验结果来看,*GFI* 和 *AGFI* 均大于 0.900,*RMR* 小于 0.080,模型的各项适配度指标均符合标准要求,拟合精度良好。

#### 3.2 结果分析

标准化的模型载荷系数见图 4。

$[-0.35+0.8 \times (-0.56)]$ 、 $0.03[0.08 \times (-0.56) \times (-0.47)+0.08 \times 0.40+(-0.35) \times (-0.47)-0.19]$ ,表明女性、年龄较大者、月收入较高、有私家车的居民,出行距离往往更远,每日出行次数更多,且更有可能选择私家车出行。此外,个人属性对出行方式的直接影响不明显,更多地是通过出行特性产生间接影响。相关研究认为,个人属性不仅直接影响出行者的出行行为,而且可通过活动参与对出行行为产生间接影响,文中的研究证实了这一点。

(2) 交通供给水平对出行方式有间接影响。交通供给水平被出发地和目的地的公交线网密度、目的地的停车位供应所解释,载荷系数分别为 0.38、0.42 和  $-0.24$ 。出发地和目的地的公交线网密度对交通供给的解释为正,而目的地停车场供应为负,二者的作用相反。交通供给水平对出行方式没有直接影响,但它通过出行偏好和出行特性间接地对出行方式产生一定影响,总效应为  $-0.52[(-0.79) \times$

$0.40 + (-0.79) \times (-0.56) \times (-0.47)$ ],表明随着公交线网密度的增加及私家车停车位的减少,人们的公交出行意愿将提高,且增加公交线网密度比减少停车位供应更能促进居民选择公交出行。可见,提高公交服务水平是将居民的私家车出行转移至公共交通的有效手段之一。

(3) 城市规模对出行方式有间接影响。城市规模对出行方式的直接影响为0.16,而通过出行偏好和出行特性产生的总效应为 $0.38[0.04 \times (-0.56) \times (-0.47) + 0.04 \times 0.40 + (-0.42) \times (-0.47) + 0.16]$ ,说明在大城市中,居民使用私家车的意愿高于中小城市。这可能是由于大城市中居民的私家车拥有水平更高,也可能是由于这部分人群的出行链更复杂,公共交通难以满足其出行需求。

(4) 出行偏好对出行特性和出行方式均有显著影响。出行偏好对出行特性和出行方式的总效应分别为 $-0.56$ 、 $0.66[0.40 + (-0.56) \times (-0.47)]$ ,说明对出行方式要求越高的出行者,出行距离可能越远,每日的出行次数越多,且这部分人越倾向于使用私家车出行。出行偏好下6个观测变量的载荷系数均大于0.6,表明居民对这6个维度均有较高的关注度。其中经济性对出行偏好的载荷系数高达0.92、舒适性和准时性为0.91,其次为快速性、安全性和方便性。出行偏好对出行方式的总影响为正,即偏好要求越高,私家车出行比例越大,说明公共交通相比于私家车还存在体验上的差距。公交运营部门可重点从经济性、舒适性和准时性方面提升公交服务水平,引导大众转向公交出行。

(5) 出行特性对出行方式有显著负影响。出行特性对出行方式的载荷系数为 $-0.47$ ,对出行距离和每日出行次数的载荷系数分别为 $-0.60$ 、 $-0.51$ ,说明随着出行距离和每日出行次数的增加,人们更有可能通过私家车出行,反映出现有公共交通难以满足长距离出行者的需求。高峰期出行和工作性出行对出行方式的总效应为负,对通勤活动及高峰期的出行,居民选择公共交通的可能性更大。这在一定程度上说明公共交通已成为许多居民日常出行上下班的主要交通方式,也是规避高峰期道路拥堵的选择之一。

#### 4 结论

该文根据山西省不同规模城市居民出行调查结果,建立结构方程模型对影响居民出行方式选择的因素进行分析,并对各类潜在变量和观测变量之间、

潜变量与潜变量之间的关系进行梳理。主要结论如下:个人属性、交通供给、城市规模通过出行偏好和出行特性对出行方式产生间接影响,出行偏好和出行特性对出行方式有显著的直接和间接影响。具体来说,与经济水平相关的变量对个人属性的影响大于性别与年龄等固有属性的影响,且经济水平越高,越有可能选择私家车出行。对于交通供给水平,公交线网密度与目的地停车位供应的影响相反,即高密度的公交线网和紧缺的私家车停车位会使居民转向公交出行,且提高公交线网密度比缩减停车位更能促进居民的公交出行。大城市的居民相比于中小城市居民更倾向于选择私家车出行。出行距离越远、出行次数越多、对交通工具的服务期望越高的出行者,越有可能使用私家车出行。高峰期和工作通勤时更有可能乘坐公共交通。

由于所调查城市尚未开通地铁线路,公交出行方式仅包括公共汽车和出租车,未考虑影响居民选择地铁出行的因素。这将在后续研究中加以完善。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [2] 关金平,杨东援.离散选择高阶Logit模型的建模与预测:以上海城市外围大型居住社区为例[J].计算机工程与应用,2015,51(13).
- [3] 宗芳,隗志才.基于活动的出行方式选择模型与交通需求管理策略[J].吉林大学学报:工学版,2007,37(1).
- [4] Chen H,Gan Z X,He Y T.Choice model and influencing factor analysis of travel mode for migrant workers: Case study in Xi'an,China[J].Discrete Dynamics in Nature and Society,2015,2015.
- [5] 刘炳恩,隗志才,李艳玲,等.居民出行方式选择非集计模型的建立[J].公路交通科技,2008,25(4).
- [6] 包丹文,邓卫,顾仕琿.停车收费对居民出行方式选择的影响分析[J].交通运输系统工程与信息,2010,10(3).
- [7] Golob T F.Structural equation modeling for travel behavior research[J].Transportation Research Part B: Methodological,2003,37(1).
- [8] Ding C,Wang D,Liu C,et al.Exploring the influence of built environment on travel mode choice considering the mediating effects of car ownership and travel distance[J].Transportation Research Part A: Policy & Practice,2017,100.
- [9] 周钱,李一,孟超,等.基于结构方程模型的交通需求分

(下转第61页)

## 5 结语

通过物元分析法构建高速公路沥青路面结构方案优化模型,并应用于新疆 G30 吐鲁番至小草湖段沥青路面结构方案优化,优选出方案 A,即 5 cm 中粒式 SBS 改性沥青砼上面层(AC-16C)+6 cm 中粒式 SBS 改性沥青砼中面层(AC-20C)+8 cm 粗粒式沥青砼下面层(AC-25C)+下封层+34 cm 水泥稳定砂砾基层+15 cm 天然砂砾底基层。使用性能监测结果表明,该路面结构的性能综合评价指标为优,优化模型合理、可行。

### 参考文献:

- [1] 郑健龙.基于结构层寿命递增的耐久性沥青路面设计新思想[J].中国公路学报,2014,27(1).
- [2] Gao J H.Maximum shearing stress analysis of asphalt pavement structure[J].Advanced Materials Research, 2014,919.
- [3] 张永安.浅谈物元模型在工程投资方案选择中的应用[J].经济师,2009(7).
- [4] Zhang L J.Dynamic response of asphalt pavement on semi-rigid base due to heavy load [J]. Applied Mechanics & Materials,2013,405~408.
- [5] 新疆维吾尔自治区交通规划勘测设计研究院.高速公路 G30 吐鲁番至小草湖段公路建设工程可行性研究报告[R].乌鲁木齐:新疆维吾尔自治区交通规划勘测设计研究院,2015.

\*\*\*\*\*  
(上接第 35 页)

- 析[J].清华大学学报:自然科学版,2008,48(5).
- [10] 张萍,邓能静,蒋瑶瑶.居民非工作活动和出行的结构方程建模[J].同济大学学报:自然科学版,2017,45(9).
- [11] 程龙,陈学武.基于结构方程的城市低收入通勤者活动—出行行为模型[J].东南大学学报:自然科学版,2015,45(5).
- [12] 曹小曙,林强.基于结构方程模型的广州城市社区居民出行行为[J].地理学报,2011,66(2).
- [13] Han Y,Li W,Wei S,et al.Research on passenger's travel mode choice behavior waiting at bus station based on SEM-Logit integration model[J].Sustainability,2018,10.
- [14] 尹静.北京市居民出行方式选择意向研究[D].北京:北京交通大学,2012.

- [6] 周琳.模糊数学在立交匝道线形优化设计中的应用[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2007,26(5).
- [7] 赵艳纳.基于正交试验的沥青路面结构优化组合分析[J].公路与汽运,2016(1).
- [8] 汪航,袁振洲.基于熵权的物元分析法在路网可靠性评价中的应用[J].公路与汽运,2016(1).
- [9] 俞竞伟,钱红萍,施维成,等.基于模糊隶属度函数的高速公路沥青路面结构方案优选[J].公路交通技术,2010(6).
- [10] 杨检.基于物元分析模型的高速公路路线方案优化研究[D].长沙:长沙理工大学,2017.
- [11] 姜立辉.基于物元理论的沥青路面综合评价方法研究[J].公路交通科技:应用技术版,2015(11).
- [12] 李红梅.基于物元模型的网级高速公路沥青路面养护决策研究[D].南京:东南大学,2017.
- [13] 刘宏.广东省高速公路沥青路面结构使用性能调查与分析[D].广州:华南理工大学,2016.
- [14] 曹慎敏.基于物元分析的高速公路沥青路面网级养护决策研究[D].西安:长安大学,2018.
- [15] 周岚.高速公路沥青路面使用性能评价及预测研究[D].南京:东南大学,2015.
- [16] 孙立军.沥青路面结构行为理论[M].上海:同济大学出版社,2003.
- [17] 陈璟.山西重载交通沥青路面结构与材料研究[D].西安:长安大学,2012.
- [18] 白冰.高速公路沥青路面轴载分析及疲劳寿命预测研究[D].长沙:长沙理工大学,2017.

收稿日期:2019-11-09

- [15] Ingvardson J B,Nielsen O A.The relationship between norms,satisfaction and public transport use:A comparison across six European cities using structural equation modeling[J].Transportation Research Part A: Policy & Practice,2019,126.
- [16] 严海,王熙蕊,梁文博,等.基于结构方程模型的通勤交通方式选择[J].北京工业大学学报,2015,41(4).
- [17] 奴尔加马力·安尼瓦,王令飞,艾力·斯木吐拉.乌鲁木齐市居民定制公交出行意愿及影响因素研究[J].公路与汽运,2019(3).
- [18] 雷子霄.大城市居民客运交通方式选择行为研究[D].西安:西安建筑科技大学,2017.

收稿日期:2019-10-15