

文章编号:1671-8879(2018)05-0087-09

基于结构方程模型的不同规模城市居民出行方式 选择影响因素的关联性分析

刘宇峰^{1,2}, 钱一之¹, 胡大伟¹, 王来军¹, 李 露³, 马壮林¹

(1. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064; 2. 山西交通控股集团有限公司, 山西 太原 030006;

3. 深圳市都市交通规划设计研究院, 广东 深圳 518058)

摘 要:针对目前城市居民出行方式选择的相关研究主要集中在个人属性对交通方式选择的影响方面,忽略了不同城市建成环境与出行方式的关联性分析问题。选取个人属性、交通供给属性和城市规模为外因变量,同时选取出行目的、出行时间、出行偏好、出行距离和出行方式选择为内因变量,采用结构方程模型(SEM)建立各影响因素与城市居民出行方式选择的关系结构;以 3 个不同规模的城市为研究对象,利用其居民出行调查数据对构建的 SEM 进行辨识与修正,采用卡方自由度比、适配度、调整适配度和均方残差 4 个指标对构建的 SEM 进行拟合优度检验,从而得到各因素对居民出行方式选择的正负影响及程度。结果表明:4 个评价指标的结果均符合适配标准或临界值要求,表明构建的 SEM 较好;性别、职业和收入水平 3 个外因观察变量对“个人属性”具有显著的正影响;目的地是否有停车场对交通供给属性具有显著的正影响,目的地停车设施越完善、停车供给越充足,城市居民选择小汽车出行的比例越大;大城市和中等城市对城市规模有显著的正影响,大城市和中等城市的居民更偏爱公交车出行;个人属性、交通供给属性和城市规模 3 个外因潜在变量对出行方式有显著的正影响;出行偏好对出行方式有显著的正影响。研究结果对进一步优化居民出行方式结构、改善城市交通拥堵具有指导意义。

关键词:交通工程;城市交通;结构方程模型;出行方式;城市规模

中图分类号:U491

文献标志码:A

Correlation analysis of travel mode choice for urban residents in different urban size based on structural equation model

LIU Yu-feng^{1,2}, STEVEN I-Jy Chien¹, HU Da-wei¹, WANG Lai-jun¹, LI Lu³, MA Zhuang-lin¹

(1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Shanxi Transportation Holdings Group Co., Ltd, Taiyuan 030006, Shanxi, China; 3. Shenzhen Urban Transport Planning & Design Institute, Shenzhen 518058, Guangdong, China)

Abstract: At present, the research on the choice of urban residents' travel mode mainly focused on the influence of individual attributes on the travel mode choice, ignoring the correlation

收稿日期:2018-04-16

基金项目:国家自然科学基金项目(51878066);教育部人文社会科学研究基金项目(18YJCZH130);

交通运输部应用基础研究(主干学科)项目(2014319812240);陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2017JM5084);

中央高校基本科研业务费专项资金项目(300102228202,300102228402)

作者简介:刘宇峰(1983-),男,山西山阴人,长安大学工学博士研究生,E-mail:61685038@qq.com。

analysis of urban built environment with travel mode. Three variables, including individual attributes, transportation supply attributes and urban size, were selected as exogenous variables in this paper. Five variables, namely travel purpose, travel time, travel preference, travel distance and travel mode choice, were selected as endogenous variables in this paper. The structural equation modeling (SEM) was used to develop the relationship between those influence factors and travel mode choice for urban resident. Three cities with different urban size were selected as research sample, and the developed SEM was identified and corrected using investigation data in three city. Four indicators, including the ratio of the chi-square degree of freedom, goodness-of-fit index, adjusted goodness-of-fit index, and root mean square residual, were used to test the goodness-of-fit of the developed SEM. Finally, positive and negative influence and its degree of all influence factors on urban residents' travel mode choice were obtained. The results show that the results of four indicators meet the adaptation criterion or critical value requirement, which indicates that the developed SEM is good. Gender, occupation and income level significantly positive influence on individual attributes. Whether the destination having a parking lot has significant positive impact on transportation supply attributes, which indicates that perfect parking facility and enough parking space will encourage urban resident choose car. Large and medium-size cities have significantly positive impacts on urban size, which indicates that residents in large and medium-size cities are likely to choose bus. Individual attribute, transportation supply attributes and urban size have significantly positive impacts on travel mode choice, and travel preference has also significantly positive impact on travel mode choice. These findings have important implications for travel mode optimization and for the ease of traffic congestion. 6 tabs, 1 fig, 23 refs.

Key words: traffic engineering; urban transportation; structural equation model; transportation mode; urban size

0 引言

随着城市化进程的不断推进和深化,截止 2017 年底,中国城镇常住人口为 81 374 万人,城镇人口占总人口比重为 58.52%^[1]。伴随着机动化水平的不断提升,截止 2017 年底,中国汽车保有量达到 2.17 亿辆,其中私人小型载客汽车达到 1.70 亿辆,占小型载客汽车的 91.87%^[1]。城镇人口和私家车数量迅猛增长,极大地方便了城市居民的工作和生活,同时,其出行总量和出行距离大幅增长,也带来了城市居民出行时间延长、环境污染和资源消耗增加等一系列负面问题。从世界城市交通发展经验来看,公共交通具有容量大、节能环保等优点,保障公共交通系统良好运行和限制私人小汽车使用已经成为很多城市解决交通拥堵、治理交通环境问题的共识。

出行方式选择是城市居民对不同出行方式在出行时间、成本、出行者主观感受上的差异而决定的。优化出行方式结构需要深入了解城市居民出行的方

式选择行为特征,剖析各种出行方式的影响因素及各因素间的相互作用机理。考虑到城市居民出行方式选择的影响因素众多,模型构建的过程也非常复杂,因此出行方式选择问题始终是出行行为研究领域的热点和难点问题之一^[2-4]。

国内外很多学者采用非集计模型对居民出行方式选择进行研究。非集计模型是以每个个体为分析单元,分析居民的个人属性、出行目的和出行方式特征与出行方式选择之间的关系。秦焕美等采用二项 Logit 模型研究了北京市停车收费价格对居民出行方式选择的影响^[5]。刘炳恩等采用多项 Logit 模型分析居民的个人属性、家庭属性、出行特性和交通设施的服务水平对出行方式选择的影响^[6]。包丹文等采用多项 Logit 模型研究不同停车费率下的城市居民选择小汽车和公交出行的比例^[7]。殷焕焕等采用多项 Logit 模型分析居民的个人属性、家庭属性和出行属性对出行方式选择的影响^[8]。Lee 等采用混合 Logit 模型研究韩国首尔-济州岛运输通道上旅客选择飞机或高速铁路出行的影响因素^[9]。陈月霞

等建立多原因多指标潜变量模型,并将预测后的潜变量代入多项 Logit 模型,从而建立带低碳出行心理变量的混合模型^[10]。然而,上述研究方法都有一定的局限性,即假设各影响因素间相互独立。梳理不同影响因素间的关系、明晰居民出行方式选择的直接影响因素和间接影响因素,是构建城市居民出行方式选择模型的前提和基础,而上述影响因素间以及其与出行方式间的互动机理可以通过结构方程模型(SEM)来揭示^[11]。

SEM 具有能够同时处理多个因变量之间关系的特点,已经在很多领域被广泛应用于分析和识别各种关系的方向和大小。李霞等^[12]采用 SEM 分析北京市五一黄金周居民属性和出行活动之间的关联性。杨励雅等采用 SEM 分析个人与家庭属性、土地利用、出行链等因素对出行方式的影响^[13]。赵昕等采用 SEM 分析家庭人员组成因素和家庭经济因素对外出活动参与决策的影响^[14]。Etminani-Ghasrodashti 等利用伊朗 Shiraz 市 900 名居民的调查数据,采用 SEM 探讨出行方式选择与生活方式、建成区环境和非工作出行之间的关系^[15]。严海等采用 SEM 分析个人经济属性、公交服务水平、停车满意度对出行方式的影响^[16]。程龙等采用 SEM 分析低收入通勤者的个人社会经济属性和可达性对出行活动的影响^[17]。乔婧等以公交-公交和公交-地铁 2 种换乘接驳形式为研究对象,采用 SEM 建立公共交通接驳换乘影响模型^[18]。Liu 等对天津市 811 位居民进行调查,采用 SEM 研究选择低碳出行方式与个体的社会心理因素、政府政策支持力度之间的关系^[19]。SEM 可以揭示出行方式与影响因素之间的关系,为出行方式选择模型的解释变量选取奠定理论基础,但上述研究均是针对某一个具体城市的居民出行活动展开研究的,没有考虑不同规模城市之间的差异对出行方式的影响。

本文以 3 个不同规模城市的居民出行调查数据为基础,采用 SEM 分析个人属性、交通供给属性、城市规模、出行特征和偏好对出行方式选择的影响,分析不同规模城市优化出行结构,为城市居民出行方式结构优化提供理论依据。

1 SEM 的基本原理

1.1 模型形式

SEM 由测量模型和结构模型 2 个部分组成。测量模型由潜在变量与观察变量组成,是 1 组观察变量的线性函数,其表达式为

$$x = \Lambda_x \xi \delta \quad (1)$$

$$y = \Lambda_y \eta \epsilon \quad (2)$$

式中: x 为外因测量变量; Λ_x 为外因测量变量 x 的因素负荷量; ξ 为外因潜在变量; δ 为外因测量变量被外因潜在变量解释的误差项, ξ 与 δ 不相关; y 为内因测量变量; Λ_y 为内因测量变量 y 的因素负荷量; η 为内因潜在变量; ϵ 为内因测量变量被内因潜在变量解释的误差项, η 与 ϵ 不相关, δ 与 ϵ 不相关。

结构模型是各潜在变量间的关系模型的说明,潜在变量按照因果关系可分为外因潜在变量和内因潜在变量,其表达式为

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

式中: \mathbf{B} 为内因潜在变量间关联的系数矩阵; $\mathbf{\Gamma}$ 为外因潜在变量与内因潜在变量间的回归系数矩阵; ζ 为结构方程模型中无法预测或解释到的误差值。

1.2 参数估计

一个完整的 SEM 包括 8 个参数,通过观测变量的方差和协方差进行参数估计。常用的参数估计方法有极大似然法(ML)、一般化最小平方方法(GLS)、未加权最小平方方法(ULS)^[20-21]。

ML 法应用最广泛,但是 ML 法不适用于小样本的估计,样本数最少为 200,当研究样本少于 100,会导致错误的结果。通常情况下,采用 GLS 法求解得到的结论与 ML 方法类似,这 2 种方法都存在 2 个方面的不足:一是没有考虑协方差矩阵的尺度;二是需要的显变量是连续和多元正态的。ULS 方法适用于在可比较尺度上仅测量得到的变量形成的协方差矩阵,否则 ULS 方法适用于相关矩阵。如果观测到奇异矩阵,则不能采用 ML 和 GLS 两种方法,解决此类问题的办法是去掉线性相关量,或者采用 ULS 方法进行估计。由于 ULS 标准化模型参数对观察变量的分布不作限定要求,即不要求观察变量总体服从正态分布,因此本文采用 ULS 方法对构建的 SEM 模型进行参数估计。

1.3 模型评价

结构方程模型的评价内容主要包括拟合指数和模型参数 2 个方面。

拟合指数的合理性,也称作模型的适配指标的合理性,主要是评价假设模型与收集到的数据之间是否匹配。但是,一个适配度良好的模型并不代表是一个有效的模型,因此这就需要对模型参数进行显著性检验。

常用的 SEM 模型参数有卡方值(χ^2)、卡方自由度比(χ^2/d_f)(d_f 为自由度值)、残差均方和平方根

(RMR)、标准化残差均方和平方根(SRMR)、渐进残差均方和平方根(RMSEA)、适配度指数(GFI)、调整适配度指数(AGFI)、简约调整后的规范适配指数(PNFI)、简约适配度指数(PGFI)等。

χ^2 受到样本大小等诸多因素的影响,很不稳定,但是 χ^2 为其他大多数指标的基础,所以 χ^2 仍然是一个常用指标,其值越小越好。为了减少样本规模对拟合检验的影响,通常考察 χ^2/d_f ,一般而言,该值小于 2,则模型拟合较好,该值小于 3 达到标准。GFI 表示假设模型可以解释观察数据的方差与协方差的比例,AGFI 是将自由度纳入考虑之后计算出来的模型拟合指数。残差均方和平方根反映了矩阵间残差的大小。因此,本文根据验证数据的特征、样本规模及假设条件选择卡方自由度比、适配度、调整适配度和残差均方和平方根 4 个指标对构建的 SEM 进行评价。

2 城市居民出行方式选择的关联性

2.1 理论模型的构建及假设

本文借鉴已有的研究成果及居民出行调查数据,选择个人属性、交通供给属性、城市规模、出行时间、出行目的、出行偏好、出行距离作为出行方式选择的影响因素。为了研究方便,本文分别对 SEM 的测量模型、结构模型和研究模式进行了假设。

2.1.1 测量模型的假设

测量模型的基本目的是描述观察变量是否适合作为潜在变量的测量手段,通过建立观察变量与其所测量的潜在变量之间的联系,用数据检验来验证是否存在假设的结构。本文假设测量模型由个人属性、交通供给属性和城市规模 3 个外因潜在变量组成,每个外因潜在变量均由若干个可以测量的外因观察变量来反映,见表 1。

表 1 外因潜在变量的假设

Tab. 1 Hypothesis of exogenous latent variables

外因潜在变量	外因观察变量
个人属性	性别、年龄、职业、收入水平、是否有公交卡、是否拥有私家车
交通供给属性	出发地(300 m 范围内)公交线网密度、目的地(300 m 范围内)公交线网密度、目的地是否有停车场
城市规模	大城市、中等城市、小城市

注:《国务院关于调整城市规划划分标准的通知》(国发[2014]51号)以城区常住人口为统计口径,将城市划分为五类七档,即超大城市、特大城市、大城市(I 型、II 型)、中等城市和小城市(I 型、II 型)。为了研究方便,本文将城市规模由大城市、中等城市、小城市 3 个外因观察变量所反映。

同理,本文假设测量模型由出行目的、出行时间、出行偏好、出行距离和出行方式 5 个内因潜在变量组成,每个内因潜在变量也均由若干个可以测量的内因观察变量来反映,见表 2。

表 2 内因潜在变量的假设

Tab. 2 Hypothesis of endogenous latent variables

内因潜在变量	内因观察变量
出行目的	刚性出行、弹性出行
出行时间	早高峰、平峰、晚高峰
出行偏好	经济性、安全性、快速性、方便性、舒适性、准时性
出行距离	远距离、中距离、近距离
出行方式	步行、自行车、小汽车、出租车、公交车

2.1.2 结构模型假设

本文假设结构模型的 3 个外因潜在变量之间存在相互影响,并且个人属性和交通设施供给属性对所有的内因潜在变量有影响,城市规模对部分内因潜在变量有影响,具体如下:

(1)个人属性对交通设施供给属性和城市规模这 2 个外因潜在变量有影响,同时个人属性也影响出行目的、出行时间、出行偏好、出行距离和出行方式 5 个内因潜在变量。

(2)交通设施供给属性对个人属性和城市规模这 2 个外因潜在变量有影响,同时交通设施供给属性也影响出行目的、出行时间、出行偏好、出行距离和出行方式 5 个内因潜在变量。

(3)城市规模对个人属性和交通设施供给属性这 2 个外因潜在变量有影响,同时城市规模也影响出行方式。

(4)出行目的影响出行方式。

(5)出行时间影响出行方式。

(6)出行偏好影响出行方式。

(7)出行距离影响出行方式。

2.1.3 研究模式的假设

本文对研究模式提出了 5 条假设:①每个测验项目都有 1 个不是 0 的负荷量在其所测量的潜在变量上,但对其他的潜在变量的负荷量是 0;②测验项目与项目之间所联结的测量误差项彼此之间不相关;③潜在变量与潜在变量间残差项彼此之间不相关;④潜在变量的残差项与测量误差项之间不相关;⑤干扰与外因潜在变量不相关。

2.2 变量选取

2.2.1 外因变量

外因变量是指在模型中未受到任何其他变量的

影响,但却直接影响别的变量的变量,它相当于路径分析中的自变量。在个人属性结构方程模型中,外因观察变量有 6 项,即性别、年龄、职业、收入水平、是否有公交卡和是否拥有私家车。在交通供给属性结构方程模型中外因观察变量有 3

项,即出发地(300 m 范围内)公交线网密度、目的地(300 m 范围内)公交线网密度和目的地是否有停车场。在城市规模结构方程模型中外因观察变量有 3 项,即大型城市、中型城市和小型城市,如表 3 所示。

表 3 结构方程模型外因变量解释

Tab. 3 Exogenous variables explanation for SEM

特征	变量名称	变量符号	变量描述
个人属性 ξ_1	性别	x_1	男取为 1,女取为 2
	年龄	x_2	18 岁以下取为 1,19~25 岁取为 2,26~40 岁取为 3,41~60 岁取为 4,60 岁以上取为 5
	职业	x_3	学生取为 1,企业员工取为 2,公务员/事业单位取为 3,个体经营者取为 4,其他取为 5
	收入水平	x_4	3 000 元以下取为 1,3 000~8 000 元取为 2,8 000 元以上取为 3
	是否有公交卡	x_5	有公交卡取为 1,没有公交卡取为 2
	是否拥有私家车	x_6	有私家车取为 1,没有私家车取为 2
交通供给属性 ξ_2	出发地(300 m 范围内)公交线网密度	x_7	1 km \cdot km $^{-2}$ 以下取为 1,1~2 km \cdot km $^{-2}$ 取为 2,2~3 km \cdot km $^{-2}$ 取为 3,3~4 km \cdot km $^{-2}$ 取为 4,4 km \cdot km $^{-2}$ 以上取为 5
	目的地(300 m 范围内)公交线网密度	x_8	1 km \cdot km $^{-2}$ 以下取为 1,1~2 km \cdot km $^{-2}$ 取为 2,2~3 km \cdot km $^{-2}$ 取为 3,3~4 km \cdot km $^{-2}$ 取为 4,4 km \cdot km $^{-2}$ 以上取为 5
	目的地是否有停车场	x_9	有停车场取为 1,没有停车场取为 2
城市规模 ξ_3	大型城市	x_{10}	是大型城市取为 1,否取为 2
	中型城市	x_{11}	是中型城市取为 1,否取为 2
	小型城市	x_{12}	是小型城市取为 1,否取为 2

2.2.2 内因变量

内因变量是指在模型中会受到任一变量影响的变量,它相当于路径分析中的因变量。本文选择出行目的、出行时间、出行偏好、出行距离和出行方式选择 5 个内因变量。其中,出行目的包括刚性出行和弹性出行 2 个内因观察变量。刚性出行包括上班、上学,弹性出行包括购物、休闲娱乐等;出行时间包括早高峰(7:00~9:00)、平峰(高峰外其他时段)和晚高峰(17:00~19:00)3 个内因观察变量;出行偏好包括经济性、安全性、快速性、方便性、舒适性、准时性等 6 个内因观察变量^[22];出行距离包括近、中、远 3 个内因观察变量;出行方式选择包括步行、自行车、小汽车、出租车和公交车 5 个内因观察变量,如表 4 所示。

2.3 结构方程模型路径

潜在变量是观察变量间所形成的特质或抽象概念,该特质或抽象概念无法直接测量,而要由观察变量测得的数据来反映。本文选择个人属性、交通设施供给属性、城市规模、出行目的、出行时间、出行距离、出行偏好和出行方式为潜在变量,并假设个人属性和交通供给属性不仅能直接影响出行方式选择,

而且会通过出行目的、出行时间、出行距离和出行偏好对出行方式选择产生间接的影响;城市规模直接影响出行方式;出行时间、出行距离、出行偏好和出行目的对出行方式选择有直接影响,具体的结构方程模型路径见图 1。

3 模型标定及评价

3.1 数据采集

选择具有代表性的 3 个城市 A、B、C 作为大城市、中等城市和小城市,对其他城市居民出行方式选择行为进行问卷调查;将土地利用性质分为居住用地、工业用地和商业用地 3 类进行问卷调查。考虑到不同规模城市的人口差异,本文在 A 城市选取 5 个调查地点,在 B 和 C 城市各选取 3 个调查地点,每个调查地点分别发放 200 份调查问卷。具体调查地点和调查样本见表 5。

3.2 模型评价

本文采用 SmallWaters 公司开发的路径分析软件 AMOS 进行分析求解。根据图 1,分析协方差结构,进而标定结构方程模型。本文选择卡方自由度比、适配度、调整适配度和均方残差 4 个指标对构建

表 4 结构方程模型内因变量解释表

Tab. 4 Endogenous variables explanation for SEM

特征	变量名称	变量符号	变量描述
出行目的 η_1	刚性出行	x_{13}	刚性出行(如上班/上学)取为 1,其他取为 2
	弹性出行	x_{14}	弹性出行(如购物、休闲娱乐)取为 1,其他取为 2
出行时间 η_2	早高峰	x_{15}	早高峰(7:00~9:00)取为 1,其他取为 2
	平峰	x_{16}	平峰(高峰外其他时段)取为 1,其他取为 2
	晚高峰	x_{17}	晚高峰(17:00~19:00)取为 1,其他取为 2
出行偏好 η_3	经济性	x_{18}	对经济性的重视程度,非常重视取为 1,比较重视取为 2,一般取为 3,不重视取为 4,非常不重视取为 5
	安全性	x_{19}	对安全性的重视程度,非常重视取为 1,比较重视取为 2,一般取为 3,不重视取为 4,非常不重视取为 5
	快速性	x_{20}	对快速性的重视程度,非常重视取为 1,比较重视取为 2,一般取为 3,不重视取为 4,非常不重视取为 5
	方便性	x_{21}	对方便性的重视程度,非常重视取为 1,比较重视取为 2,一般取为 3,不重视取为 4,非常不重视取为 5
	舒适性	x_{22}	对舒适性的重视程度,非常重视取为 1,比较重视取为 2,一般取为 3,不重视取为 4,非常不重视取为 5
	准时性	x_{23}	对准时性的重视程度,非常重视取为 1,比较重视取为 2,一般取为 3,不重视取为 4,非常不重视取为 5
出行距离 η_4	近距离	x_{24}	中小城市,3 km 以下取为 1,其他取为 2;大城市,5 km 以下取为 1,其他取为 2
	中距离	x_{25}	中小城市,3~6 km 取为 1,其他取为 2;大城市,5~10 km 取为 1,其他取为 2
	远距离	x_{26}	中小城市,6 km 以上取为 1,其他取为 2;大城市,10 km 以上取为 1,其他取为 2
出行方式 η_5	步行	x_{27}	步行取为 1,其他取为 2
	自行车	x_{28}	自行车取为 1,其他取为 2
	小汽车	x_{29}	小汽车取为 1,其他取为 2
	出租车	x_{30}	出租车取为 1,其他取为 2
	公交车	x_{31}	公交车取为 1,其他取为 2

表 5 调查地点和调查样本

Tab. 5 Investigation location and investigation samples				
城市名称	地点	样本量/份	回收样本/有效样本	回收率/有效率/%
A	5 个(居民区 1 个、工业区 1 个、商业区 3 个)	1 000	762/760	76.2/76.0
B	3 个(居民区 1 个、商业区 2 个)	600	480/471	80.0/78.5
C	3 个(居民区 1 个、商业区 2 个)	600	480/474	80.0/79.0

表 6 SEM 的拟合优度检验

Tab. 6 Goodness-of-fit indices of SEM		
评价指标	检验结果	适配标准
卡方自由度比值(χ^2/d_f)	2	$1<\chi^2/d_f<3$
适配度(GFI)	0.940	>0.900
调整适配度(AGFI)	0.950	>0.900
残差均方和平方根(RMR)	0.041	<0.050

的 SEM 进行评价,具体评价结果见表 6。

从表 6 可以看出:卡方自由度比值、适配度、调整适配度和残差均方和平方根 4 个评价指标的结果

均符合适配标准或临界值要求。

3.3 结果分析

本文采用 ULS 法对构建的结构方程模型进行参数估计,得到城市居民出行方式选择的 SEM 参数估计结果,具体见图 1。从图 1 可以看出:

(1)性别、年龄、职业、收入水平、是否有公交卡和是否拥有私家车 6 个外因观察变量对个人属性的标准载荷系数分别为 0.98、0.18、0.30、0.52、0.12、0.23,表明这 6 个外因观察变量对个人属性均有正影响,尤其是性别、职业和收入水平对个人属性的影响显著,该结论与文献[23]的结论基本一致。

(2)出发地(300 m 范围内)公交线网密度、目的地(300 m 范围内)公交线网密度、目的地是否有停车场 3 个外因观察变量对交通供给属性的标准载荷系数分别为 0.03、0.06 和 0.95,表明目的地是否有停车场对交通供给属性有显著的正影响,而出发地(300 m 范围内)公交线网密度和目的地(300 m 范围内)公交线网密度对交通供给属性呈现出较弱的

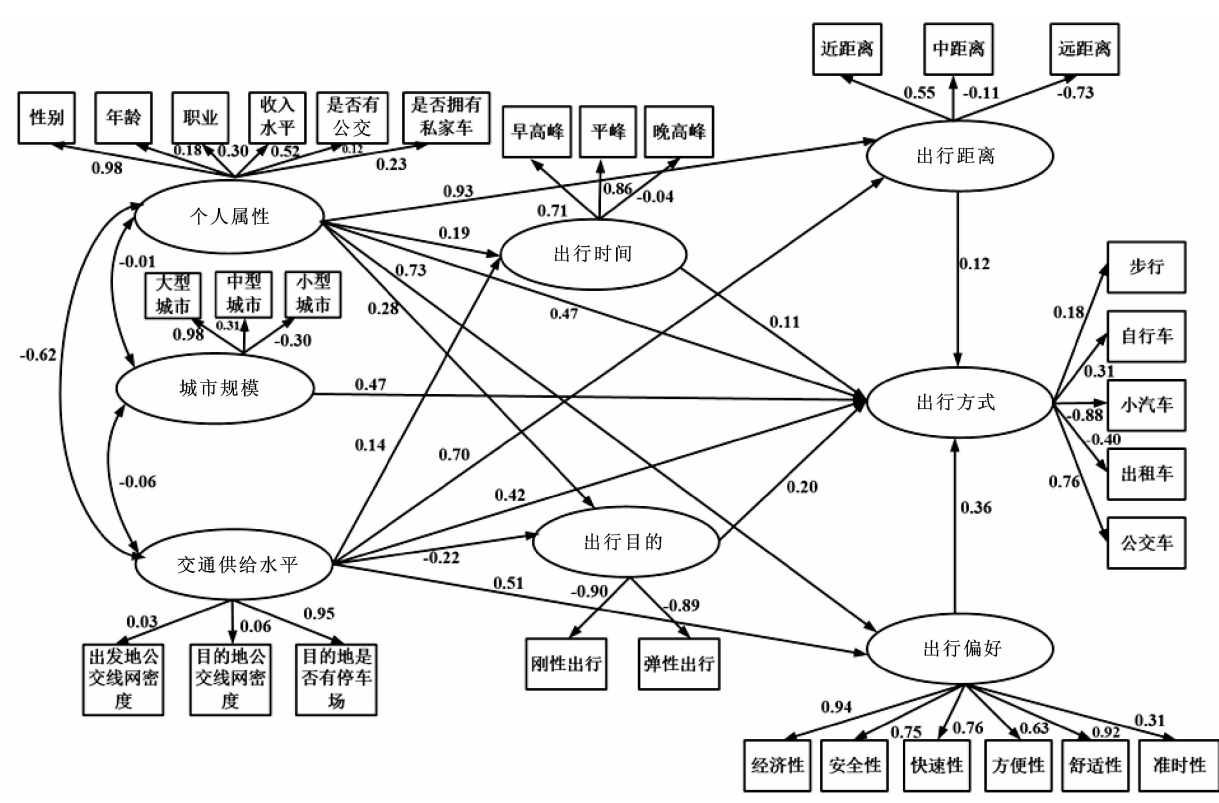


图 1 城市居民出行方式选择的 SEM 延路径图和参数估计结果

Fig. 1 Path SEM and parameters estimation results of SEM of travel mode choice for urban resident

正影响。

(3)大城市、中等城市和小城市 3 个外因观察变量对城市规模的标准载荷系数分别为 0.98、0.31 和 -0.30,表明大城市和中等城市对城市规模有正影响,小城市对城市规模有负影响。

(4)步行、自行车、小汽车、出租车和公交车 5 个外因观察变量对出行方式的标准载荷系数分别为 0.18、0.31、-0.88、-0.40、0.76,步行、自行车和出租车对出行方式有正影响,而小汽车和出租车对出行方式有负影响,尤其是自行车、小汽车、出租车和公交车对出行方式的影响显著,该结论与文献[11]的结论相似。

(5)个人属性对出行方式的关联系数为 0.47,其对出行方式有显著的正影响。

(6)交通供给属性对出行方式的关联系数为 0.42,其对出行方式有显著的正影响,即目的地停车设施越完善、停车供给越充足,城市居民选择小汽车出行的比例越大。

(7)城市规模对出行方式的关联系数为 0.47,其对出行方式有显著的正影响,即大城市和中等城市的居民更偏爱公交车出行。

(8)出行目的、出行时间、出行偏好和出行距离 4 个内因潜在变量对出行方式的关联系数分别为 0.20、0.11、0.36、0.12,表明这 4 个内因潜在变量对出行方式有正影响,出行偏好对的影响显著,该结论与文献[23]的结论相似。

4 结 语

(1)本文根据对不同规模城市居民出行方式选择影响因素的关联性分析,选取个人属性、交通供给属性和城市规模 3 个因素作为外因变量,选取出行目的、出行时间、出行偏好、出行距离和出行方式作为内因变量,采用 SEM 建立各影响因素与城市居民出行方式选择的关系结构,从而得出城市规模不同也会对居民出行方式的选择产生影响。

(2)利用 A、B、C 3 个不同规模城市居民出行调查数据构建的 SEM,得到各影响因素对居民出行方式选择的正负影响及程度。

(3)交通供给属性对出行方式有显著的正影响,目的地停车设施越完善、停车供给越充足,城市居民选择小汽车出行的比例越大。

(4)城市规模对出行方式有显著的正影响,大城市和中等城市的居民更偏爱公交车出行,因此,在大中城市大力发展公共交通比小城市的效果更好。

(5)本文中个人属性包括的外因观察变量较多,不仅个人因素,而且还有家庭因素,对其进一步细

化是未来研究的重点。

参考文献:

References:

- [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.
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Publishing House, 2018.
- [2] BOWMAN J L, BEN-AKIVA M E. Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules [J]. Transportation Research Part A, 2001, 35(1): 1-28.
- [3] KAMARGIANNI M, DUBEY S, POLYDOROPOULOU A, et al. Investigating the subjective and objective factors influencing teenagers' school travel mode choice—An integrated choice and latent variable model [J]. Transportation Research Part A, 2015, 78: 473-488.
- [4] DING C, WANG D G, 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, 2017, 100: 65-80.
- [5] 秦焕美, 关宏志, 殷焕焕. 停车收费价格对居民出行方式选择行为的影响研究——以北京市居民小汽车、公交、出租车选择行为为例 [J]. 土木工程学报, 2008, 41(8): 93-98.
QIN Huan-mei, GUAN Hong-zhi, YIN Huan-huan. A study of the effect of parking price on the mode of inhabitant trip behavior—with the cars, public transit and taxi in Beijing as an example [J]. China Civil Engineering Journal, 2008, 41(8): 93-98.
- [6] 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): 116-120.
LIU Bing-en, JUAN Zhi-cai, LI Yan-ling, et al. Development of multinomial Logit model for travel mode choice of resident [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25(4): 116-120.
- [7] 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): 80-85.
BAO Dan-wen, DENG Wei, GU Shi-hui. Impact of parking rates on resident travel behavior [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(3): 80-85.
- [8] 殷焕焕, 关宏志, 秦焕美, 等. 基于非集计模型的居民出行方式选择行为研究 [J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2010, 34(5): 1000-1003.
YIN Huan-huan, GUAN Hong-zhi, QIN Huan-mei, et al. Study of travel mode choice behavior based on disaggregate model [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2010, 34(5): 1000-1003.
- [9] LEE J, YOO K, SONG K. A study on travelers' transport mode choice behavior using the mixed Logit model: A case study of the Seoul Jejuroute [J]. Journal of Air Transport Management, 2016, 56: 131-137.
- [10] 陈月霞, 陈龙, 查奇芬, 等. 基于低碳心理潜变量 Logit 模型的出行方式预测模型 [J]. 公路交通科技, 2017, 34(9): 100-108, 137.
CHEN Yue-xia, CHEN Long, ZHA Qi-fen, et al. A travel mode forecasting model based on low-carbon psychological latent variable Logit model [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2017, 34(9): 100-108, 137.
- [11] 周钱, 李一, 孟超, 等. 基于结构方程模型的交通需求分析 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2008, 48(5): 879-882.
ZHOU Qian, LI Yi, MENG Chao, et al. Analysis of travel demand based on a structural equation model [J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2008, 48(5): 879-882.
- [12] 李霞, 邵春福, 孙壮志, 等. 基于结构方程模型的节假日居民出行和活动关联性建模分析 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2008, 8(6): 91-95.
LI Xia, SHAO Chun-fu, SUN Zhuang-zhi, et al. Modeling correlation of holiday trips and activities based on structural equation model [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2008, 8(6): 91-95.
- [13] 杨励雅, 邵春福, 李霞. 考虑空间相关性递远递减的居民居住选址模型 [J]. 中国公路学报, 2013, 26(1): 156-162.
YANG Li-ya, SHAO Chun-fu, LI Xia. Degressive residential location model considering spatial correlation [J]. China Journal of Highway and Transport, 2013, 26(1): 156-162.
- [14] 赵昕, 关宏志, 巩丽媛. 基于结构方程的家庭假日外出活动关联性分析 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2011, 11(4): 85-90.
ZHAO Xin, GUAN Hong-zhi, GONG Li-yuan. Modeling correlation of family holiday activities based on structural equation model [J]. Journal of Transporta-

- tion System Engineering and Information Technology,2011,11(4):85-90.
- [15] ETMINANI-GHASRODASHTI R, ARDESHIRI M. Modeling travel behavior by the structural relationships between lifestyle, built environment and non-working trips[J]. Transportation Research Part A, 2015,78:506-518.
- [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):590-596.
YAN Hai, WANG Xi-rui, LIANG Wen-bo, et al. Commute traffic mode choice based on structural equation model[J]. Journal of Beijing University of Technology,2015,41(4):590-596.
- [17] 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):1013-1019.
CHENG Long, CHEN Xue-wu. Activity-travel behavior model of urban low-income commuters based on structural equation[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition,2015,45(5):1013-1019.
- [18] 乔婧,孙立山,刘小明,等. 基于结构方程的公共交通换乘影响因素研究[J]. 科学技术与工程,2017,17(6):296-300.
QIAO Jing, SUN Li-shan, LIU Xiao-ming, et al. Analysis on public transportation transfer influencing factors based on structural equation model[J]. Science Technology and Engineering,2017,17(6):296-300.
- [19] LIU D, DU H, SOUTHWORTH F, et al. The influence of social-psychological factors on the intention to choose low-carbon travel modes in Tianjin, China[J]. Transportation Research Part A, 2017,105:42-53.
- [20] JIN S, LUO H, FAN Y W. A simulation study of polychoric instrumental variable estimation in structural equation models[J]. Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 2016,23(5):1-15.
- [21] 季彦婕,周洋,高良鹏,等. 基于结构方程模型的乘客出行满意度评价[J]. 交通运输工程与信息学报,2016,14(3):7-12,18.
JI Yan-jie, ZHOU Yang, GAO Liang-peng, et al. Evaluation of passenger satisfaction based on structural equation modeling approach[J]. Journal of Transportation Engineering and Information,2016,14(3):7-12,18.
- [22] 伊静. 北京市居民出行方式选择意向研究[D]. 北京:北京交通大学,2016.
YI jing. Study on the intention of Beijing residents' travel mode choice[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2016.
- [23] 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):166-177.
CAO Xiao-shu, LIN Qiang. Travel behavior of Guangzhou urban community residents based on structural equation model[J]. Acta Geographica Sinica,2011,66(2):166-177.