

城市交通出行方式选择与引导方法研究^{*}江成林^{1,2}, 田东³, 吴月³, 蔡晓禹^{1,2}

(1.重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074; 2.山地城市交通系统与安全重庆市重点实验室, 重庆 400074;

3.重庆市公安局交通巡逻警察总队, 重庆 400055)

摘要: 出行方式选择研究在居民出行预测方面具有重要作用,是居民出行引导的前提,对缓解城市交通拥堵具有重要意义。目前出行方式选择主要影响因素有性别、年龄、经济、出行目的等,出行引导研究集中在出行方式和出行路径方面。文中针对目前出行方式选择研究中问卷调查数据样本量少、精度难以保证、出行引导忽视出行群体差异的局限,利用数据丰富、精准度高的预约出行数据,提出采用 Logit 模型研究出行方式选择主要影响因素,根据影响因素对出行群体进行划分,并引入出行群体偏好系数建立考虑出行者偏好的多方式随机平衡模型,实现精准出行引导。

关键词: 城市交通;出行方式;出行引导;预约出行数据

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)05-0025-05

出行方式选择行为是出行者出行行为分析、交通方式选择分析的基础,对于精准预测出行者出行方式和路径、提高交通系统建设和管理的科学性具有十分重要的意义。随着城市的发展和机动车拥有量的增长,网约车、共享单车等新型出行方式相继出现,居民出行方式更加多样化,出行需求量也相应增长,导致城市交通拥堵日趋严重。准确预测出行者出行方式、出行路径,从而对出行方式、路径进行精准引导,对缓解城市交通拥堵具有巨大作用。

近年来,在大型活动举办期间积累了大量预约出行数据,为出行行为研究提供了新的契机。但这些数据体量巨大,需进行数据清洗、融合才能作为出行引导的研究数据。当前精准出行引导不仅需考虑道路运行状态,也需考虑出行者的个体差异及如何让更多的出行者选择公共交通出行。因此,精准出行引导需从整体引导出行向群体、个体出行引导转变,新数据环境下出行引导方法有待进一步研究。

1 出行方式选择影响因素

居民出行方式选择影响因素主要包括宏观、微观、组合出行因素。宏观影响因素主要由外部自然环境和交通环境构成,如交通政策、交通信息、气候等。微观影响因素由出行者个体特征和出行特征构成,如年龄、学历、出行时间、出行距离等。组合出行影响因素主要揭示居民如何在多种出行方式间进行

选择、组合、换乘等出行行为。

1.1 宏观影响因素

出行选择宏观影响的研究集中在交通政策、交通设施、交通信息及气候等方面。Hunecke M.、肖海燕等研究发现利用政策手段降低公共交通的价格、限制小汽车出行对减少居民小汽车出行有着积极作用。杨西宁等研究发现提高公共交通服务水平、城市土地利用多样化也能有效减少小汽车出行,提升公共交通出行比例。居民选择出行方式时,比较关注目的地周边的停车场情况、公交线网是否发达、轨道站点与目的地的距离。刘宇峰等研究得出目的地的停车设施越完善,小汽车出行比例越高。

出行前信息也会对出行方式选择产生显著影响。Khattak A.、Yim Youngbin 等研究表明完善信息服务能在一定程度上影响出行者的非理性出行决策,出行者会根据信息引导改变其出行方式。张小宁通过比较试验,得出如果能建立健全的信息发布系统使驾驶员获取准确的交通信息,交通拥堵能得到缓解。耿纪超等通过对居民出行方式影响因素的分析,发现雨天和比较寒冷的天气及以休闲娱乐为目的的非通勤出行,居民会更依赖于小汽车出行。

1.2 微观影响因素

对微观影响因素的研究主要集中在出行个体层面。徐上等基于南京五台山体育馆足球赛事期间的问卷调查数据,得出收入、年龄、出行时间是观众出

^{*} 基金项目:重庆市技术创新与应用发展专项重点项目(cstc2019jscx—tjsb0028)

行方式选择的主要影响因素。刘炳恩、殷焕焕等对城市居民出行调查数据进行分析,结果表明居民的个人属性、家庭属性、出行特性对出行方式选择影响显著。包丹文等基于南京市出行问卷调查数据建立停车费率和个人特征等出行影响因素的出行方式选择模型,研究停车费率处于不同水平时居民选择小汽车和公交出行的比例。Prillwitz J.、马军红、Susilo Y. O.、Yang L. Y.等研究发现女性和中青年人更依赖于公共交通出行,有无子女、收入水平、教育水平、是否有小汽车、出行距离对选择小汽车出行呈现正显著影响,即上述影响因素水平越高,更依赖于选择小汽车出行。

1.3 组合出行影响因素

组合出行相比于单次出行,其出行期间需考虑多种出行方式、换乘次数等影响因素。通常是基于出行链对组合出行行为进行研究。赵昕等通过构建MNL模型识别组合出行中显著影响因素为出行链中往返行程数量、出行链模式、出行链时间、出行链费用。Arentze T. A.等分析4种出行距离条件下包含停车换乘方式在内的公交出行选择行为,揭示了出行者在多模式网络出行选择中如何平衡出行时间、出行费用和出行服务3种属性的影响。赵丹等基于居民日常通勤出行链研究多方式出行诱导信息对组合出行的影响,证实了多方式诱导信息能有效引导从小汽车出行转向其他交通方式出行。

目前在交通出行方式选择影响因素方面取得了一定研究成果,得出影响出行方式选择的因素主要包括交通政策、气候、出行者个体特征、出行费用等。但已有成果侧重于运用问卷调查数据研究可直接测量的影响因素,较少考虑个体出行感受、心理因素等变量对出行方式选择的影响。

2 出行方式选择模型

出行方式选择模型的发展分为两个阶段,第一阶段是20世纪60年代的集计模型,第二阶段是20世纪70年代的非集计模型。对出行方式选择的研究主要采用以Logit及其嵌套模型为主的非集计模型,也有部分学者使用前景理论、神经网络等方法。相较于单次出行方式选择,组合出行涉及的出行方式种类较多,更依赖于网络模型进行研究。

2.1 Logit及其嵌套模型

万霞等基于出行链对出行方式选择进行研究,通过测量前一次出行对下一次的影

响,在Logit模型的基础上增加动态变量建立动态选择模型。但多项Logit模型存在不相关方案相互独立的局限,不适用于具有相关关系的选择方案。为解决该问题,提出分层Logit模型,先对选择方案进行分类,然后将具有关系的选择方案放进同一类。姚丽亚等根据出行方式服务对象不同,将出行方式划分为公共交通出行和私人交通出行两大类,将私家车和出租车放入私人交通出行、公交车和地铁放入公共交通出行,结果表明NL模型的精度高于MNL模型。杨励雅、诸葛承祥等根据居民出行特征建立基于出行方式与出发时间的NL模型,计算结果表明出发时间—出行方式NL模型更合理。胡文君等考虑居民出行时间价值差异建立了多模式、多用户混合交叉巢式Logit模型。

2.2 考虑出行者偏好的出行方式选择模型

上述模型建立过程中忽略了出行者的主观感受及偏好所导致的非完全理性出行决策。陈坚、景鹏等为出行方式选择模型添加心理潜变量,将心理潜变量的拟合值作为变量加入传统方式选择模型中形成整合模型。Krishnan K. S.首次提出效用差概念,判断出行者在出行方式选择时不同影响因素的影响因子,建立了方式选择MPD模型。刘建荣等假定出行者偏好不完全一致,加入可靠性、舒适性、灵活性3个出行心理因素,建立了随机系数Logit模型。姚恩建等研究发现出行者受限于自身习惯及对出行环境的不完全认识,在出行方式选择时作出不是以效用最大化的选择,基于非完全理性决策构建了出行偏好方式选择模型。

2.3 其他出行选择模型

2.3.1 前景理论

决策时一般会选择一个参考点与当前选择进行比较,从而确定符合自身预期的决策。张薇等基于前景理论,通过对出行方式选择前景值的计算预测出行方式。石修路通过模糊评价对居民出行过程的出行费用进行计算,通过出行费用与当前各种交通方式出行的前景值进行比较预测居民的出行方式。

2.3.2 神经网络

Xie Chi等的研究表明人工神经网络(ANN)在交通方式选择中的鲁棒性比决策树(DT)和多项Logit(MNL)更好。刘阳等构建小波神经网络模型对城市交通出行方式选择行为进行了预测研究。田晟等构建了基于深度神经网络的城市交通出行方式选择模型。

2.4 组合出行方式分配模型

在组合出行方式选择分配方面,一方面以图论为网络建模基础,另一方面以超级网络方法为基础建立模型,两者均是通过假设 OD 和可换乘点的个数对出行方式和出行路径进行研究。林徐勋等考虑组合出行时上下网的随机波动因素,证实了停车换乘策略在减少拥堵及提升路网可靠性方面的积极作用。秦焕美等通过构建出行方式和换乘地点选择的分层非集计模型,求解出行者的停车换乘需求分布,对换乘点布局进行了优化。四兵锋等考虑城市交通方式间复杂选择及不同方式间路径流量干扰,基于城市居民出行需求构建了城市多模式交通方式分配模型。李红莲、杨灵宇考虑换乘条件下不同方式的出行特征,建立基于出行特征的广义费用函数,实现了多模式交通均衡分配。汪勤政等基于出行者的换乘规律和换乘行为,通过对可行超路径上各路段广义费用进行求解,提出了换乘约束下出行方式随机平衡分配模型。刘梦琪、付晓等的研究表明轨道交通与常规公交有机结合才能提高公共交通吸引力及定制公交对人们出行决策的影响。

3 出行方式选择影响因素建模

3.1 预约出行数据

随着互联网技术的发展,利用手机 APP 对居民个人经济特征、出行特征数据的采集已发展成熟。预约出行数据是在重大活动或管制区域为提前掌握居民出行需求而获取的数据,主要包括个人特征数据如性别、年龄、收入等及出行特征数据如出行时间、出行方式等。

与传统问卷调查数据相比,预约出行数据具有以下特征:1) 数据类型全,包含出行者属性、出行时段、出行区域及拟采用的出行方式;2) 数据量丰富,在重大活动举办期间,所有参与者都需通过预约形式进入,是全样本数据;3) 数据精度高,缺失、错误数据极少。

3.2 模型构建

3.2.1 影响因素选取

出行影响因素分为个体属性、家庭属性及出行属性。现有出行预约数据基本来自大型活动举办期间,会吸引大量外地游客。针对外地游客,增加出行者区域这一影响因素(见表 1)。

3.2.2 选择行为建模

非集计模型可通过引入出行者特征变量,准确

表 1 出行方式选择影响因素

属性分类	影响因素	属性分类	影响因素
个体属性	性别	出行属性	出行时间
	年龄		出行方式
家庭属性	可支配收入		出行距离
	拥有车辆		出行区域

识别出行方式选择影响因素,故选择非集计模型构建个人出行方式。效用最大化是非集计模型的基础,若 U_{in} 为个人 n 选择方式 i 的出行效用, C_n 表示所有出行方式的集合,当 $U_{in} > U_{jn}, \forall j \neq i \in C_n$ 时,个人 n 将选择方式 i ,个人 n 选择方式 i 的出行效用可表示为:

$$U_{in} = V_{in} + \epsilon_{in} \quad (1)$$

式中: V_{in} 为效用函数的固定项; ϵ_{in} 为效用函数的随机项。

为便于分析,假设效用函数固定项与影响因素具有线性关系,即:

$$V_{in} = \sum_{k=1}^k \theta_k X_{kin} \quad (2)$$

式中: X_{kin} 为个人 n 选择方式 i 的第 k 个变量值; θ_k 为待定系数。

假定效用函数概率项服从二重指数分布,则个人出行方式选择的 Logit 模型为:

$$P_{in} = \frac{\exp(V_{in})}{\sum_{j \in C_n} \exp(V_{jn})} \quad (3)$$

式中: P_{in} 为个人 n 选择方式 i 的概率; j 为除 i 之外的其他交通方式; C_n 为第 n 个人选择方式的集合。

4 考虑出行者偏好的引导方法研究

4.1 出行者偏好

出行偏好是出行者受自身出行习惯、出行感受、出行心理影响因素共同作用下的出行行为影响因素,难以直接作为指标进行计算分析,但可通过其表现出的可计算的特征指标进行计算。

4.1.1 出行群体分类

由于出行者特征存在差异,出行者出行偏好不尽相同,要考虑出行个体的出行偏好,在现有科学技术条件下难以实现。为此,通过 MNL 模型辨识出行方式选择影响因素,选取显著影响因素对出行者进行群体分类,要求所有进行分类的出行者比例达到出行者的 95% 以上,否则需重新选取分类的影响因素。群体分类不仅能保证不同出行群体间出行偏好特征值差异较小,还能有效减少由于大量计算导

致的误差,提高出行偏好特征值计算的可行性。

4.1.2 出行群体偏好系数计算

考虑到出行偏好是难以直接测量的一种心理影响因素,引入出行群体偏好系数对其特征值进行计算。群体偏好系数用群体间各种出行方式所占比例来表示,其值为0~1,计算公式如下:

$$\tau_j^m = \frac{B_j^m}{B_j} \quad (4)$$

$$B = \sum_{j=1}^n B_j \quad (5)$$

式中: τ_j^m 为群体 j 对交通方式 m 的偏好系数; B_j^m 为出行群体 j 选择方式 m 的人数; B_j 为出行群体 j 的总人数; B 为出行群体总人数。

4.2 考虑出行者偏好的交通分配模型构建

构建小汽车层、地面公交层、轨道交通层、出租车层的城市交通网络,且各子网络之间均能进行换乘。考虑各出行方式特征,并不是所有网络中的出行路径都会被选择。对出行路径作以下约束:1)换乘次数不超过2次;2)同一站点不允许换乘;3)小汽车与出租车不进行换乘;4)出租车可在任意节点与公共交通进行换乘。

根据出行过程,可将网络模型的路段分为上网路段、行驶路段、换乘路段和下网路段。由于出行者在不同路段上选择的出行方式不同,其行驶时间、费用、舒适度也不同。同时考虑不同出行群体对不同出行方式的固有喜好,在费用函数中引入出行偏好系数,最终组成新的费用函数。路段广义费用主要由时间费用、货币费用、舒适性损耗组成,其路段费用表达式为:

$$G_k^w = \sum_a \sum_j (1 - \tau_j^m) G_{a,j}^m \cdot \delta_{a,k}^w \quad (6)$$

式中: G_k^w 表示OD对 w 间路径 k 的费用; $G_{a,j}^m$ 表示群体 j 的各路段费用; $\delta_{a,k}^w$ 表示路径与路段的相关性,如果路段 a 在路径 k 上,则 $\delta_{a,k}^w=1$,否则 $\delta_{a,k}^w=0$ 。

考虑出行者偏好的多方式随机平衡模型的表达式如下:

$$\begin{aligned} \min Z(f) &= \frac{1}{\theta} \sum_w \sum_k f_k^w \ln f_k^w + \\ &\quad \sum_a \int_0^{x_a} (1 - \tau_j^m) G_{a,j}^m(x) dx \\ \text{s.t.} &\begin{cases} \sum_k f_k^w = q^w, \forall k \in K^w; w \in W \\ f_k^w \geq 0, \forall k \in K^w; w \in W \\ x_a = \sum_w \sum_k f_k^w \cdot \delta_{a,k}^w, \forall a \in A \end{cases} \quad (7) \end{aligned}$$

式中: θ 为模型的随机特性,其值越大表明出行者信息获取越全面; f_k^w 为OD对 w 间路径 k 的流量; q^w 为OD对 w 间的总出行量; K^w 为OD对 w 间所有路径集合; W 为所有OD对的集合。

其中最优解满足Logit形式的路径流量如下:

$$f_k^w = \frac{\exp(-\theta G_k^w)}{\sum_l \exp(-\theta G_l^w)} \cdot q^w \quad (8)$$

5 结语

对国内外相关文献进行梳理,研究居民交通出行方式选择影响因素、选择模型和组合出行,结果表明出行方式选择影响因素研究方面侧重于性别、年龄、出行目的、出行距离等可直接观测的影响因素,较少考虑个体出行感受和心理因素等潜变量及对潜变量影响机理的研究;出行方式选择模型以Logit模型及其嵌套模型为代表的非集计模型为主;组合出行方面主要利用网络模型、费用函数研究组合出行方式和路径选择。

交通出行行为研究方面的数据来源依赖于问卷调查,存在数据样本量小、数据质量无法保障的局限,不可避免地影响研究结论。为此,提出利用预约出行数据进行出行行为研究,以大量获取个体特征、出行特征数据,准确辨识出行方式选择影响因素。在出行分配模型中引入出行群体偏好系数,更符合居民的出行习惯,可提升出行引导效用,为多方式精准出行引导提供依据。基于预约出行数据进行精准的出行引导将成为未来的研究重点。

参考文献:

- [1] 秦萍,陈颖翔,徐晋涛,等.北京居民出行行为分析:时间价值和交通需求弹性估算[J].经济地理,2014,34(11):17-22.
- [2] HUNECKE M, BLOBAUM A, MATTHIES E, et al. Responsibility and environment: ecological norm orientation and external factors in the domain of travel mode choice behavior[J]. Environment & Behavior, 2001, 33(6): 830-852.
- [3] 肖海燕,王先甲.政府参与模式下出行者出行方式选择行为的演化博弈分析[J].管理工程学报,2010,24(2): 115-118.
- [4] 杨西宁,邓琼华,杨硕.建成环境对居民出行方式选择影响效应的异质性研究[J].交通运输工程与信息学报,2019,17(2):128-137.
- [5] 刘宇峰,钱一之,胡大伟,等.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[J].长安大学学报(自然科学版),2018,38(5):87-95.
- [6] KHATTAK A, POLYDOROPOULOU A, BEN-AKI-VA M. Modelling revealed and stated en-route travel response to advanced traveler information systems[J]. Transportation Research Record, 1996, 1537: 46-54.
- [7] YIM Youngbin MARK A M. Evaluation of Travinfo™ field operational test[D]. California: University of California at Berkeley Institute of Transportation, 2000.
- [8] 张小宁. 实时交通信息诱导下的出行模式及效益评价[J]. 管理科学学报, 2011, 14(9): 13-20.
- [9] 耿纪超, 龙如银, 陈红. 居民出行方式选择影响因素的研究述评[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2016, 18(5): 1-9.
- [10] 徐上, 陆建, 马海峰, 等. 大型活动观众出行方式选择影响因素研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2007, 5(4): 77-83.
- [11] 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(5): 116-120.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] PRILLWITZ J, BARR S. Moving towards sustainability? mobility styles, attitudes and individual travel behavior[J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(6): 1590-1600.
- [15] 马军红, 廖娜. 西安市居民低碳出行调研[J]. 新西部(中旬刊), 2015(1): 16-19.
- [16] SUSILO Y O, WILLIAMS K, LINDSAY M, et al. The influence of individuals' environmental attitudes and urban design features on their travel patterns in sustainable neighborhoods in the UK[J]. Transportation Research Part D (Transport and Environment), 2012, 17(3): 190-200.
- [17] YANG L Y, ZHENG G, ZHU X N. Cross-nested logit model for the joint choice of residential location, travel mode, and departure time[J]. Habitat International, 2013, 38(11): 157-166.
- [18] 赵昕, 关宏志, 刘诗序. 基于出行链的有车家庭假日出行方式组合研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2011, 35(6): 1139-1142.
- [19] ARENTZE T A, MOLIN E J E. Travelers' preferences in multimodal networks: design and results of a comprehensive series of choice experiments[J]. Transportation Research Part A (Policy & Practice), 2013, 58: 15-28.
- [20] 赵丹, 邵春福, 王军利, 等. 多方式诱导下通勤出行链交通方式组合选择行为模型[J]. 吉林大学学报(工学版), 2015, 45(6): 1763-1770.
- [21] 张新洁, 关宏志, 赵磊, 等. 有限理性视野下出行者出行方式选择分层 Logit 模型研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2018, 18(6): 110-116.
- [22] 万霞, 王伟, 陈峻. 居民全日出行方式选择动态模型研究[J]. 中国公路学报, 2012, 25(2): 121-126+141.
- [23] 姚丽亚, 孙立山, 关宏志. 基于分层 Logit 模型的交通方式选择行为研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2010, 34(4): 738-741.
- [24] 杨励雅, 邵春福, HAGHANI A. 出行方式与出发时间联合选择的分层 Logit 模型[J]. 交通运输工程学报, 2012, 12(2): 76-83.
- [25] 诸葛承祥, 邵春福, 李霞, 等. 通勤者出行时间与出行方式选择行为研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2012, 12(2): 126-131.
- [26] 胡文君, 周溪召. 基于交叉巢式 Logit 的多用户多模式随机用户均衡模型[J]. 中国公路学报, 2012, 25(4): 133-140.
- [27] 陈坚, 晏启鹏, 杨飞, 等. 出行方式选择行为的 SEM-Logit 整合模型[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2013, 41(2): 51-57+65.
- [28] 景鹏, 隗志才, 查奇芬. 考虑心理潜变量的出行方式选择行为模型[J]. 中国公路学报, 2014, 27(11): 84-92+108.
- [29] KRISHNAN K S. Incorporating thresholds of indifference in probabilistic choice models [J]. Management Science, 1977, 23(11): 1224-1233.
- [30] 刘建荣, 郝小妮. 基于随机系数 Logit 模型的市内出行方式选择行为研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(5): 108-113.
- [31] 姚恩建, 陈伟迪, 卢天伟, 等. 考虑出行者选择偏好的出行方式选择模型[J]. 北京交通大学学报, 2020, 44(1): 42-48.
- [32] 张薇, 何瑞春. 基于前景理论的居民出行方式选择[J]. 计算机应用, 2014, 34(3): 749-753.
- [33] 石修路. 基于前景理论与模糊综合评价的出行方式选择[J]. 交通运输工程与信息学报, 2018, 16(3): 119-124.
- [34] XIE Chi, LU Jinyang, EMILY Parkany. Work travel mode choice modeling with data mining: decision trees and neural networks[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,

- ICT-12-010, 2012.
- [6] VASWANI N K. Case studies of wrong-way entries at highway interchanges in Virginia [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1974, 514: 16-28.
- [7] Federal Highway Administration. Manual on uniform traffic control devices [S]. Federal Highway Administration, 2012.
- [8] SCOTT A Cooner, COTHROON A Scott, STEVEN E Ranft. Countermeasures for wrong-way movements on freeways: overview of project activities and findings [R]. FHWA/TX-04/4128-1, 2003.
- [9] SCOTT A Cooner, COTHROON A Scott, STEVEN E Ranft. Countermeasures for wrong-way movement on freeways: guidelines and recommended practices [R]. FHWA/TX-04/4128-2, 2003.
- [10] COPELAN J E. Prevention of wrong-way accidents on freeways [R]. FHWA/CA-TE-89-2, 1989.
- [11] SHEPARD F D. Evaluation of raised pavement markers for reducing incidences of wrong-way driving [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2010, 597: 41-50.
- 收稿日期: 2020-04-21

(上接第 29 页)

- 2003, 1854(1): 50-61.
- [35] 刘阳, 赵晖. 基于小波神经网络的城市交通出行方式交互预测 [J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2015, 35 (增刊 1): 41-44+48.
- [36] 田晟, 张裕天, 张剑锋, 等. 基于深度神经网络的交通出行方式选择模型 [J]. 北华大学学报 (自然科学版), 2019, 20(1): 109-113.
- [37] 林徐勋, 隗志才, 张伟华, 等. 基于停车换乘随机网络可靠性交通分配模型 [J]. 上海交通大学学报, 2011, 45(12): 1836-1840+1845.
- [38] 秦焕美, 关宏志, 潘小松. 基于随机连续平衡模型的停车换乘需求 [J]. 吉林大学学报 (工学版), 2012, 42 (2): 321-326.
- [39] 四兵锋, 杨小宝, 高亮, 等. 基于出行需求的城市多模式交通配流模型 [J]. 中国公路学报, 2010, 23(6): 85-91.
- [40] 李红莲. 可换乘条件下的城市多模式交通分配研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [41] 杨灵宇. 考虑共享交通的多方式随机用户均衡 [D]. 南京: 东南大学, 2018.
- [42] 汪勤政, 四兵锋. 换乘约束下城市多方式交通分配模型与算法 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2017, 17 (4): 159-165+181.
- [43] 刘梦琪, 瞿何舟. 基于轨道交通与常规公交组合的出行路径选择研究 [J]. 交通运输工程与信息学报, 2018, 16(4): 63-68.
- [44] 付晓, 顾宇, 刘志远. 多模式公交网络中考虑定制公交的活动与出行建模 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(4): 20-27.
- [45] 郭季, 罗明杰, 崔姗姗. 基于结构方程模型的城市居民出行方式选择研究 [J]. 公路与汽运, 2020(2): 30-35+61.
- [46] 耿纪超. 多元动机视角下城市居民出行方式选择及其引导政策研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2017.
- [47] 刘雪梅. 基于绿色交通的城市居民出行方式选择研究 [D]. 西安: 长安大学, 2015.
- [48] 杨励雅, 邵春福, 李霞. 城市居民出行方式选择的结构方程分析 [J]. 北京交通大学学报, 2011, 35(6): 1-6.
- 收稿日期: 2020-12-30

(上接第 33 页)

- [7] ETTEMA D, GARLING T, ERIKSSON L, et al. Satisfaction with travel and subjective well-being: development and test of a measurement tool [J]. Transportation Research Part F (Psychology and Behaviour), 2010, 14(3): 167-175.
- [8] 李啟华, 徐永能. 基于多项 Logit 模型的老城区通勤出行方式选择研究 [J]. 现代交通技术, 2015, 12(2): 66-68.
- [9] 李佳玉, 李琼, 王红, 等. 针对不满意群体的公交满意度改善策略 [J]. 公路与汽运, 2017(1): 27-32.
- [10] 严海, 靳露宁, 王鹏飞. 小汽车通勤者主观幸福对出行方式选择的影响 [J]. 城市交通, 2019, 17(2): 119-126.
- [11] 潘驰, 郭志达. 考虑公交服务水平的通勤出行方式选择行为分析 [J]. 大连交通大学学报, 2017, 38(4): 19-24.
- [12] 彭昌淑, 周雪梅, 张道智, 等. 基于乘客感知的公交服务质量影响因素分析 [J]. 交通信息与安全, 2013, 31 (4): 40-44.
- 收稿日期: 2021-06-01