

基于系统动力学的哈尔滨市私人小汽车出行特征建模分析

宋成举, 薛大维, 张 鹏

(黑龙江工程学院 汽车与交通工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150050)

摘 要:私人小汽车是出行方式结构的重要组成部分,科学地规范和引导私人小汽车发展对于经济社会持续健康发展具有重要意义。从私人小汽车出行影响因素分析入手,剖析私人小汽车出行存在的因果关系链,建立动态因果关系环路,采用 VENSIM 建立仿真环境,结合哈尔滨市私人小汽车出行数据对模型进行标定,分析哈尔滨市私人小汽车出行特征,研究表明:哈尔滨市私人小汽车平均载人数和运载总量均呈现下降趋势。

关键词:私人小汽车;系统动力学;出行特征;仿真

中图分类号:U491

文献标识码:A

文章编号:1671-4679(2019)03-0001-04

Modeling and analysis on private car travel characteristics in Harbin based on system dynamics

SONG Chengju, XUE Dawei, ZHANG Peng

(College of Automotive and Transportation Engineering, Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China)

Abstract: Private cars are an important part of the travel structure. Scientific guiding the development of private cars is of great significance to the sustained and healthy development of the economy and society. The paper starts with the analysis of the influencing factors of private car travel, analyzes the causal relationship chain of private car travel, establishes a dynamic causal relationship loop, uses vensim to establish a simulation environment, combines Harbin private car travel data to calibrate, and analyzes on the characteristics of private car travel in Harbin. The result shows that the average number of passengers and the total amount of private cars in Harbin have shown a downward trend.

Key words: private car; system dynamic; travel characteristic; simulation

随着经济社会的不断发展,私人小汽车保有量逐年增加,私人小汽车方式在交通结构中的出行比例也呈上升趋势,私人小汽车运输在我国客运交通系统中起着越来越重要的作用,对于客运交通的发展也具有深远的影响^[1]。如何引导和规范私人小汽车发展正在成为经济社会持续健康发展的关键问题之一。

经过多年的管理实践,国内外取得了一系列研

究成果和实践成果^[2]。在纽约,为了应对综合交通体系的需求,成立了涵盖所有交通出行方式的州交通局,实现城市内各种交通方式之间的统一规划和统一管理^[3];新加坡从公共交通管理体制、公交线网结构、公交营运及监管、公交补贴及票价等诸多方面实施一体化发展模式,公共交通对出行者具有很强的吸引力,对私人交通的发展起到很好的抑制作用^[4]。我国加入世贸组织之后,私人小汽车保有量呈逐年增长的态势,陈尚针对北京私人小汽车的发展历程及引发的交通问题进行分析,并针对性地指出北京市交通结构发展中存在的问题^[5];刘明君则对北京和纽约的私人小汽车特征进行对比分析,并揭示私人小汽车本质交通行为^[6];张香平采用外部性理论及数学函数分析私人小汽车的外部性费用,

收稿日期:2019-01-15

基金项目:黑龙江省普通高等学校青年创新人才培养计划(UNPY-SCT-2018090);哈尔滨市科技创新青年后备人才计划(2015RAQXJ039);黑龙江省省属本科高校基本科研业务费科研项目(2018CX08);黑龙江工程学院博士基金(2015BJ03)

第一作者简介:宋成举(1983-),男,副教授,工学博士,研究方向:交通管理与控制。

明确界定了属性值的度量方法,并给出了外部性内部化的政策和效果分析^[7]。

考虑到各个城市私人小汽车发展背景及现状,针对私人小汽车的发展特性,采用系统动力学理论全面分析私人小汽车出行特征,结合哈尔滨相关数据开展研究并制定交通决策,为其它城市提供参考。

1 影响因素分析

在机动化的发展过程中,道路供应与交通需求之间的平衡往往难以保持,事实已经证明单纯地扩大供给难以从根本上解决出行需求问题。所以,机动化带给大都市的不仅仅是交通运行的高速化和机动化,同时也引发了交通拥挤,而后者正在不断削弱前者的功效^[8]。

1.1 出行目的

在通常私人小汽车出行原因中排在前四位的分别是工作需要、出行方便、路程较远和赶时间。开车出行目的以上班和办事为主,其次是旅游和购物,进一步观察上述4个选项期望值的差异程度,可以看出前两项的期望值远远超出后两项,这意味着家庭小汽车的使用频率是很高的。同时也应该看到尽管以上班为目的的出行所占比例较大,但大多数有车家庭也将小汽车用于旅游、购物、娱乐等各种弹性出行。

1.2 出行时间

出行时间是指1 d的出行活动时间分布。以哈尔滨为例,现状居民出行主要分布在早上6:00至下午18:00,12 h占全天总出行量比例为91.62%,与2000年的分布基本一致,有明显的早高峰和晚高峰。早高峰时间出现在上午7:00~8:00,晚高峰时间出现在17:00~18:00,早晚高峰小时出行量占全日出行量比例分别为21.39%和15.37%,相比较于2000年,早、晚高峰的出行比重有所下降,说明居民在其他时段的生活娱乐休闲等出行有所上升。

1.3 平均出行时耗

结合哈尔滨出行数据分析,现状哈尔滨市平均出行时耗为27.15 min,各种方式的平均出行时耗由长到短依次为单位大客>公交>单位小客>私人客车>出租车>摩托车>助动车>自行车>步行。步行耗时最少,其平均出行距离约为1 km左右。公交出行时耗为37.46 min。

哈尔滨市出行时耗呈现近多(时耗短)远少(时耗长)分布,在40 min以后有明显的下降趋势。并且在居民出行总量中,居民出行时间在40 min以内的占77.8%。随着出行时耗的增加,步行和自行车

方式出行比例有较大幅度减少,而公交、单位客车比例在出行时耗30~40 min达到最高点。在40 min以上的行程中,主要出行方式为公交和单位大客车。

2 因果关系动态环路分析

在进行系统结构分析中,首先用直观的因果关系树状图,分析系统中的主要因果关系链,直接得到相关变量之间的因果关系,反映因素之间的相互影响,有助于对模型结构有更进一步的了解。

2.1 因果链

因果链是构成因果关系动态环路的基础,系统内因果关系的相互作用决定系统功能和行为。在私人小汽车的出行特征分析中包括3条主要的因果链,分别是:

1)平均出行次数因果链。需要明确,一般而言,私人小汽车的增长直接导致私人小汽车总量的增长,而私人小汽车的出行总量由私人小汽车平均运行数和平均载人数共同决定,私人小汽车平均出行次数可由私人小汽车出行总量和私人小汽车保有量共同决定。

2)私人小汽车总量因果链。私人小汽车总量受到经济环境和人口的影响,而随着环保理念的逐步深入人心,环境因素将成为制约经济发展的重要因素,本文引入环境变量,考虑环境因素与经济发展及人口之间的互动关系。

3)出行总量因果链。人口是构成出行总量的基本参数,而经济环境则会对居民出行,特别是私人小汽车出行产生重要影响,而出行总量和私人小汽车出行比例则直接决定了私人小汽车出行量。

2.2 因果反馈分析

基于因果关系链可以得到因果反馈,私人小汽车出行的因果反馈主要包括:

1)经济发展 \rightarrow 私人小汽车保有量 \rightarrow 私人小汽车出行量 \rightarrow 环境污染 \rightarrow 经济发展(负反馈)

社会经济的发展,推动了城市的机动化进程,使私人小汽车保有量迅速增长,进而私人小汽车的出行大大增加,机动车尾气排放导致大气环境污染,而严重的环境问题会反作用于社会经济,影响社会经济发展速度和发展质量。

2)经济发展 \rightarrow 私人小汽车保有量 \rightarrow 交通需求 \rightarrow 交通拥挤 \rightarrow 经济发展(负反馈)

经济的快速发展使机动车保有量增长迅猛,机动化的出行需求增加,导致城市交通出现拥挤状

况,严重的交通拥堵会降低经济活动的效率,使社会经济的发展速度受到影响。

3) 经济发展 \rightarrow 人口 \rightarrow 交通需求 \rightarrow 交通拥挤 \rightarrow 经济发展(负反馈)

城市经济的发展程度吸引大量外来人口入城,使城市的人口规模加大,城市的交通总需求增加,在有限资源的约束下,必然会发生交通拥堵,直至影响社会经济的良性发展。

4) 经济发展 \rightarrow 私人小汽车保有量 \rightarrow 私人小汽车出行量 \rightarrow 环境污染 \rightarrow 人口 \rightarrow 交通需求 \rightarrow 交通拥挤 \rightarrow 经济发展(正反馈)

经济发展伴随着私人小汽车总量和出行量的增加,大气环境不断恶化,在一定程度上降低了城市的吸引力,使外来人口的增速变缓,但城市总人口仍保持增长的趋势,因此,交通需求会继续增加,交通拥挤也会继续发生,对经济发展具有负面影响。

综上,得到私人小汽车出行特征因果关系动态环路如图1所示。

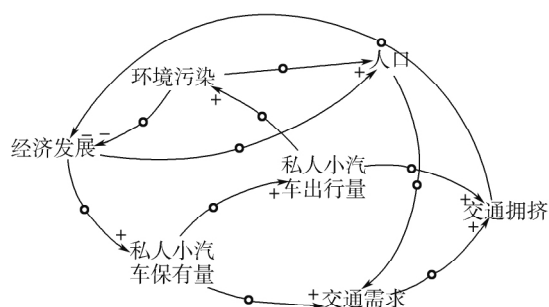


图1 私人小汽车出行量反馈环

3 系统动力学仿真

本文采用系统动力学仿真软件 VENSIM 构建仿真环境,根据前文分析,选择 GDP、主城区总人口、NO₂ 存量和私家车总量为水准变量,以 2017 年哈尔滨的居民出行数据标定流图模型,模型中基本参数如下:GDP 增长率取 2017 年数据,为 0.067,车均年 NO₂ 排量=0.002 万 t/(万辆·年),私人小汽车对 NO₂ 污染贡献率=0.2,NO₂ 容量=11.408 7 万 t,消散率=0.2,出生率=0.006 2,死亡率=0.006 4。构建私人小汽车出行特征分析流图。流图中所涉及到的主要结构方程式如下:

1) GDP 增量=GDP×GDP 增长率×环境影响系数,亿元。

2) 人均 GDP=GDP/主城区总人口,万元/人。

3) 环境影响系数=-0.473 1×ln(NO₂ 污染

率)-0.010 2,Dmnl。

4) NO₂ 增量=私人小汽车总量×车均年 NO₂ 排量/私人小汽车对 NO₂ 污染贡献率,万 t。

5) NO₂ 存量=INTEG(NO₂ 增量-年消散量,2.31),万 t。

6) NO₂ 污染率=NO₂ 存量/NO₂ 容量,Dmnl。

7) 年消散量=NO₂ 存量×消散率,万 t。

8) 净增人口=主城区总人口×(净迁移率+出生率),万人。

所建立的系统流图见图2。

4 仿真分析

以 2017 年为基年,考虑预测精准程度,本文仿真分析哈尔滨 2017—2022 各参数的变化情况。根据参数输入,仿真运行模型,得到哈尔滨市 GDP 和私人小汽车总量变化情况,见图3和图4。哈尔滨市私人小汽车平均载人数和载运总量变化情况,见图5和图6。

从图3可以看出,哈尔滨市 GDP 总体呈现增长趋势,但受制于环境等因素制约,后期增长乏力,呈现增速放缓趋势,也与当前哈尔滨经济所面临的挑战相对应;从图4可以看出,私人小汽车总量呈现先增后减的趋势,本文认为有3个原因:一方面是哈尔滨市的经济增速放缓,居民实际购买私人小汽车能力呈降低趋势;另一方面,哈尔滨市公共交通系统的日趋完善,特别是轨道交通建设的规模化对原有的私人小汽车出行形成较大冲击,改变了部分固有的出行习惯,也是私人小汽车总量降低的原因之一;第三,环保意识的日趋深入也是私人小汽车购买能力受限的因素之一,这包括国家对于新能源汽车产业的扶持政策,居民对新能源汽车相关技术不成熟的怀疑及观望态度,新能源车辆匹配服务设施的不完善因素以及私人小汽车燃油等使用成本的提高。

从图5可以看出,哈尔滨私人小汽车平均载人数呈现下降的趋势,表明私人小汽车存在较大的运能浪费;从图6可以看出,私人小汽车运载总量也呈现下降的趋势,表明私人小汽车的出行比例呈现降低的走势,主要原因有两点:首先是哈尔滨市未来公共交通系统的不断完善,特别是轨道交通骨架网络的形成有利于进一步提高公共交通出行比例,进而挤压了原有的私人小汽车出行份额;其次是哈尔滨现状道路出行,特别是冰雪季的出行导致私人小汽车出行体验较差,严重影响了私人小汽车的出行比例。

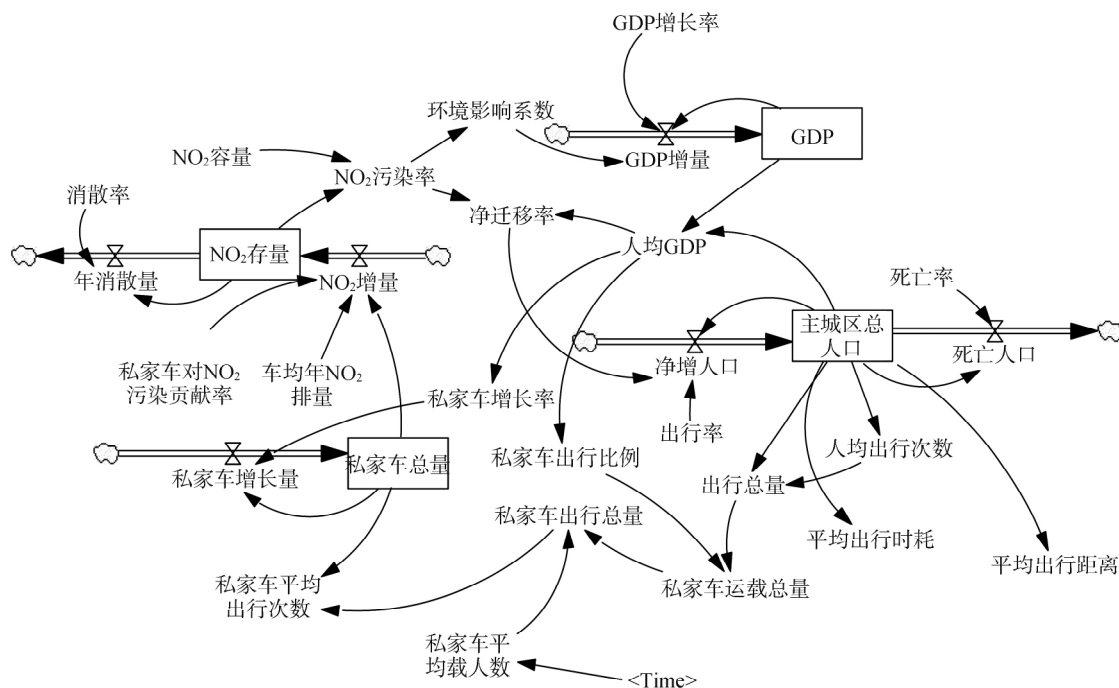


图2 私人小汽车出行特征分析流图

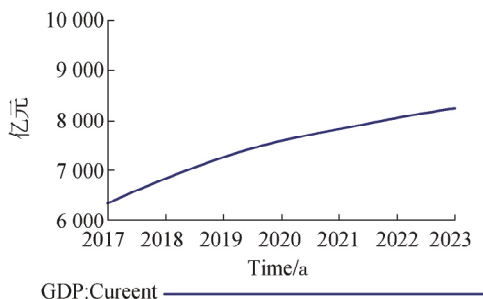


图3 哈尔滨 GDP 变化情况

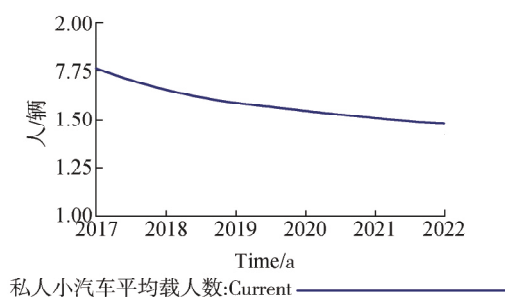


图5 哈尔滨私人小汽车平均载人数变化情况

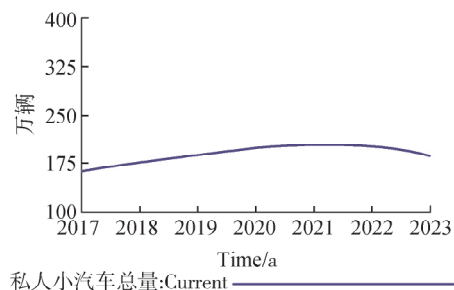


图4 哈尔滨私人小汽车总量变化情况

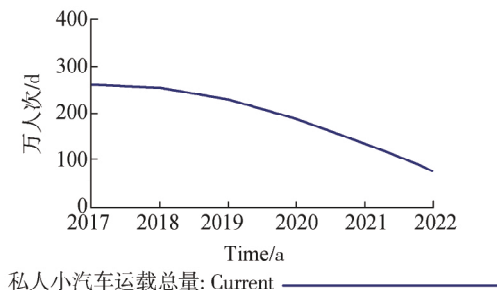


图6 哈尔滨私人小汽车运载总量变化情况

5 结 论

- 1) 私人小汽车出行特征受到出行目的、出行时间和出行平均时耗等多方面因素影响；
- 2) 私人小汽车出行存在多条因果关系链,进而

能够形成因果关系环路；

- 3) 可以采用系统动力学仿真软件构建私人小汽车出行特征分析环境；

- 4) 哈尔滨市私人小汽车平均载人数和运载总量均呈下降趋势。

(下转第13页)

- [7] WITLOX F, TINDEMANS H. Evaluating bicycle-car transport mode competitiveness in an urban environment: An activity-based approach[J]. World Transport Policy & Practice, 2004, 8(4): 32-42.
- [8] BUEHLER R, PUCHER J. Cycling to work in 90 large American cities: new evidence on the role of bike paths and lanes [J]. Transportation, 2012, 39 (2): 409-432.
- [9] BROACH J, DILL J, GLIEBE J. Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data[J]. Transportation Research Part A Policy & Practice, 2012, 46(10): 1730-1740.
- [10] DILL J. Bicycling for transportation and health: the role of infrastructure. [J]. Journal of Public Health Policy, 2009, 30(1): S95-S110.
- [11] GEUS B D, BOURDEAUDHUIJ I D, JANNES C, et al. Psychosocial and environmental factors associated with cycling for transport among a working population. [J]. Health Education Research, 2008, 23 (4): 697-708.
- [12] EVENSON K R, HERRING A H, HUSTON S L. Evaluating change in physical activity with the building of a multi-use trail. [J]. American Journal of Preventive Medicine, 2005, 28(2 Suppl 2): 177.
- [13] SENER I N, ELURN N, BHAT C R. An analysis of bicycle route choice preferences in Texas, US [J]. Transportation, 2009, 36(5): 511-539.
- [14] STINSON M A, BHAT C R. Commuter Bicyclist Route Choice: Analysis Using a Stated Preference Survey[J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2003, 1828(1828): 107-115.
- [15] 陆龙妹, 张平, 赵明松. 基于 GIS 的池州市城区道路通达性研究[J]. 黑龙江工程学院学报, 2019, 33 (1): 36-40.
- [16] WANG Y, LIU Y, JI S, et al. Bicycle Lane Condition and Distance: Case Study of Public Bicycle System in Xi'an, China[J]. Journal of Urban Planning and Development, 2018, 144(2): 05018001.
- [17] WANG Y, YANG L, HAN S, et al. Urban CO₂ emissions in Xi'an and Bangalore by commuters: implications for controlling urban transportation carbon dioxide emissions in developing countries[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2017, 22(7): 993-1019.

[责任编辑:郝丽英]

(上接第4页)

参考文献

- [1] 王伟, 陈学武, 陆建. 城市交通系统可持续发展理论体系研究[M]. 北京: 科学技术出版社, 2004: 45-73.
- [2] 邹胜勇. 面向可持续发展的城市总体交通结构优化[J]. 交通运输系统工程与信息, 2006(6): 106-110.
- [3] BAJRACHARYA A. Public Transportation and Private Car: A System Dynamics Approach in Understanding the Mode Choice[M]// Public Transportation and Private Car: A System Dynamics Approach in Understanding the Mode Choice. , 2016.
- [4] THIEL C L, SCHEHLEIN E, RAVILLA T, et al. Cataract surgery and environmental sustainability: Waste and lifecycle assessment of phacoemulsification at a private healthcare facility[J]. Journal of Cataract & Refractive Surgery, 2017, 43(11): 1391-1398.
- [5] 陈尚和, 王沛霖. 北京市小汽车交通发展研究[J]. 城市交通, 2008, 6(3): 53-56.
- [6] 刘明君, 郭继孚, 高利平, 等. 私人小汽车出行行为特征分析与建模[J]. 吉林大学学报, 2009, 39 (2): 25-30.
- [7] 张香平. 城市地区私人小汽车使用的外部性研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- [8] 万霞, 陈峻, 胡文婷. 基于出行方式和活动交互作用的小汽车使用预测模型[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2009(1): 171-176.

[责任编辑:郝丽英]