

巡游出租车运价动态调整系统动力学模型

谢金¹, 叶晓飞^{1,2*}, 刘文丽¹, 郑彭军^{1,4,5}, 陆丽丽^{1,3,4,5}, 叶骐铭¹

(1. 宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315832; 2. 宁波市港口贸易合作与发展协同创新中心, 浙江 宁波 315832;
3. 宁波港航物流服务体系协同创新中心, 浙江 宁波 315832; 4 国家道路交通安全管理工程技术研究中心宁波大学分中心,
浙江 宁波 315832; 5 现代城市交通技术江苏高校协同创新中心, 江苏 南京 210096)

摘要: 合理的巡游出租车运价体系是缓解行业矛盾和促进行业良性发展的重要保障。为了充分体现运价在供需调节中的杠杆作用, 运用系统动力学构建了巡游出租车运价动态调整模型。以宁波市巡游车和网约车运营数据对模型参数进行标定, 验证了模型的有效性; 以市场供需平衡为目标, 分别模拟了高峰、低峰不同需求水平下动态加价、减价对市场供需平衡状态的影响分析以及不同网约车吸引力水平下巡游出租车运价动态调整策略。模型结果表明: (1)当运价增加 $0.6 \text{ 元} \cdot \text{km}^{-1}$ 时, 可使高峰时段供需接近平衡状态, 有效地抑制了高峰需求水平, 且保证了巡游车运营总体收益增加; (2)当巡游车和网约车市场业务量之比约为 10:4.5 和 10:8 时, 巡游车加价分别为 0.6 和 $-0.4 \text{ 元} \cdot \text{km}^{-1}$, 当巡游车处于竞争优势时, 适度加价可期获得更大收益; 处于劣势时, 适度降价以提高自身竞争能力。

关键词: 交通工程; 出租车; 运价; 系统动力学; 供需平衡分析

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2019) 06-0092-06

出租车是城市综合交通运输体系的重要组成部分, 是城市公共交通的补充, 为社会公众提供个性化的运输服务^[1]。随着滴滴、优步等网络约租车的不断发展, 传统巡游出租车行业受到了巨大的冲击^[2-3]。为了积极推进出租汽车行业的改革, 交通运输部发布了指导意见^[4], 明确指出了建立出租汽车运价动态调整机制, 充分发挥运价调节出租汽车运输市场供求关系的杠杆作用。可见, 制定合理的出租车运价体系是政府对出租车行业结构实施宏观调控的重要手段, 也是调整行业分配制度, 缓解行业矛盾和促进出租车行业良性发展的重要保障。

国内外学者针对巡游出租车定价开展了相关研究^[5-8], 给出单一政府定价或指导价的建议^[9-11], 其中政府指导价是各大城市通用制度^[12-13], 其制定了最高运价标准, 出租车经营者可自主合理选

择运费下浮办法^[14]。然而, 政府指导价存在以下不足: (1)巡游车经营者只遵循了最高价格, 没有切实可行的运价下浮实施办法, 难以发挥运价在供需平衡中的调节作用, 导致了运价市场化改革止步不前; (2)与网约车运价相比, 巡游车运价偏高, 且在定价时并未考虑网约车竞争关系, 使巡游车处于不利竞争地位。此外, 网约车已实施了峰时溢价方法, 可有效地调节供需关系, 表明价格在供需平衡中具有调节功能, 动态定价同样可用于巡游车供需调节当中。为此, 本文考虑出租汽车运营成本、居民和驾驶员收入水平、交通拥堵状况、服务质量、网约车竞争关系、客运需求时变特性等因素, 运用系统动力学构建巡游出租车运价动态调整模型, 发挥运价调节出租汽车运输市场供求关系的杠杆作用, 为巡游出租车行业可持续发展提供技术保障。

收稿日期: 2019-06-22.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(51408322, 71701108); 国家重点研发计划(2017YFE9134700); 宁波市交通科技计划(201920)。

第一作者: 谢金(1993-), 男, 海南屯昌人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 交通运输规划与管理。E-mail: 1104023992@qq.com

*通信作者: 叶晓飞(1985-), 男, 浙江宁波人, 博士/副教授, 主要研究方向: 交通运输规划与管理。E-mail: yexiaofei@nbu.edu.cn

1 巡游出租车运价动态调整系统动力学模型

1.1 巡游出租车运价影响因素分析

巡游出租车运价的影响因素主要包含出租车需求与供给关系、经营模式、行业定位、经营成本、燃油(气)价格、城市居民支付能力、外部成本、与公共交通(含公共自行车)竞争关系、与网约车竞争关系、需求时变特性(高低峰、淡旺季等时变差异)等。由此可见,巡游出租车运价系统是一个多变量、多利益主体、多反馈的复杂系统,其发展与演化过程中存在着诸多的不确定性因素。同时,由于运价各因素之间相互影响、相互联系和相互作用,且各变量不断发展与变动,因此难以用简单线性模型来准确描述城市巡游出租车定价系统。系统动力学模型具有多变量、定性与定量分析相结合的特点,可以处理多回路、非线性的时变复杂系统问题^[15],是较好的解决手段。

针对现有运价结构难以实现运价对出租车客运供求平衡的调节作用以及各个影响因素之间制约关系的复杂性,本文通过对巡游出租车系统各要素之间的关系及影响传递链的分析,构建了动态的巡游出租车系统因果反馈结构,如图1所示,该结构由出租车需求、供给以及运价测算3个模块组成。

1.2 模型的系统流图和结构方程式

基于以上所建立的系统因果关系,结合宁波市巡游出租车管理信息系统和实际调查数据,确定其中各参数和变量关系后,得出巡游出租车运价系统动力学模型的系统流图(图2),出租车定价系统流图中共包含3个状态变量,分别为出租车吸引系数、出租车单位运价和新增出租车车辆数;速率变量则包含吸引率、运费变动率和车辆增长率,由于新增车辆需经过一段时期才能实现,所以插入一个延迟函数。

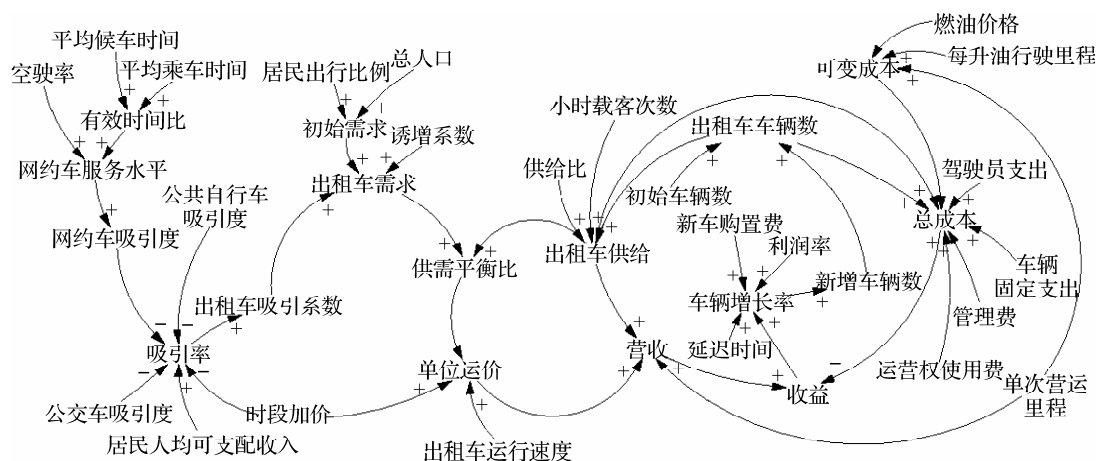


图1 巡游出租车运价系统因果关系

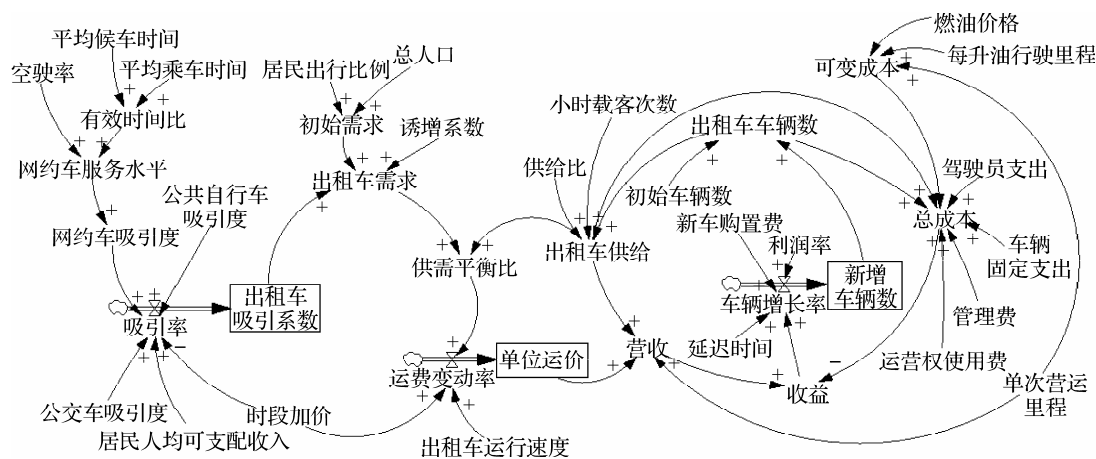


图2 巡游出租车运价系统流图

图 2 包含的结构方程式如下:

供需平衡比=出租车需求/出租车供给,

出租车供给=出租车车辆数 $\times$ 供给比 $\times$ 小时载客次数,

出租车车辆数=初始车辆数+新增车辆数,

出租车需求=初始需求 $\times$ 出租车吸引系数 $\times$ 诱增系数,

初始需求=总人口 $\times$ 居民出行比例,

可变成本=单次营运里程 $\times$ 燃油价格 $\times 24 \times 30$ /每升油行驶里程,

总成本=(可变成本 $\times$ 出租车供给)+(驾驶员支出+车辆固定支出+管理费+运营权使用费) $\times$ 出租车车辆数,

收益=营收-总成本,

有效时间比=平均乘车时间/(平均乘车时间+平均候车时间),

网约车吸引度=网约车服务水平/ $\beta_1(13.8)$,

网约车服务水平=空驶率 $\times \beta_2(0.8)$ +有效时间比 $\times \beta_3(0.8)$,

营收=出租车供给 $\times$ 单位运价 $\times$ 单次营运里程 $\times 24 \times 30 \times \beta_4(0.63)$.

图 2 包含的速率方程和延迟函数如下:

吸引率= $\{\ln(\text{居民人均可支配收入})-(\text{时段加价} \times \beta_5(4) + \text{公交车吸引度} + \text{公共自行车吸引度} + \text{网约车吸引度})\} \times \beta_6(1/80)$;

运费变动率=供需平衡比 $\times \beta_7(0.075)$ +时段加价/出租车运行速度;

车辆增长率= $\text{DELAY3}((\text{收益} \times \text{利润率})/(\text{新车购置费} \times 20), \text{延迟时间})$.

各方程式中 $\beta_1, \dots, \beta_7$ 为待定系数, 括号中的值为对应标定结果; 由于宁波等城市取消运营权使用费, 所以在计算总成本时不予考虑该项成本.

2 模型参数标定及有效性检验

以宁波市巡游出租车管理信息系统数据为主, 结合最新宁波市 OD 调查结果和问卷调查获取了网约车与巡游车两种出行方式在居民出行当中的出行比例, 并利用跟车调查获取了网约车经营成本、乘客等待时间、日均营运里程、日均收益等营运数据, 对所建立的系统动力学模型进行参数标定(其中, 宁波市的出租汽车运营权使用费于 2016

年取消), 模型相关输入数据见表 1.

表 1 宁波出租车运行相关参数

参数	单位	数值
居民出行比例		0.150 0, 0.030 0, 0.004 5
出租车运行速度	$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	20, 28, 30
网约车空驶率	%	36
小时载客次数	$\text{次} \cdot \text{h}^{-1}$	4.5, 3.4, 2.0
燃油价格	$\text{元} \cdot \text{L}^{-1}$	6.3
每升油行驶里程	km	9.09, 11.11, 13.00
初始车辆数	辆	4 427
新车购置费	元	120 000
折旧费	$\text{元} \cdot \text{月}^{-1}$	1 083
利润率		0.105
驾驶员支出	$\text{元} \cdot \text{月}^{-1}$	4 707
车辆固定支出	$\text{元} \cdot \text{月}^{-1}$	3 699
管理费	$\text{元} \cdot \text{月}^{-1}$	340
网约车平均乘车时间	$\text{min} \cdot \text{次}^{-1}$	14
网约车平均候车时间	$\text{min} \cdot \text{次}^{-1}$	4
单次运营行驶里程	km	6.24
居民人均可支配收入	$\text{元} \cdot \text{a}^{-1}$	44 641
公交车吸引度		0.202 7
公共自行车吸引度		0.089 5

注: 同一参数有 3 个数值则依次为高峰、平峰和低峰状态时的数值.

以宁波市巡游出租车运营数据作为输入, 通过模拟仿真结果与真实数据对比分析, 验证系统动力学模型的有效性. 由于高峰时段经常发生交通拥堵, 巡游车出车率较低, 导致其服务水平亦较低, 因此, 如图 3 所示, 高峰时段吸引系数比平峰时段低. 以供需平衡比(巡游车需求与供给的比值, 反映了市场供需关系)为指标, 进行仿真模拟, 如图 4 所示, 高峰时供需平衡比较平峰时高, 低峰时供需平衡比较平峰时低, 这与实际运营数据(高峰时, 需求大于供给; 低峰时, 供过于求)相符. 因此, 该模型在处理巡游车定价问题上具有有效性.

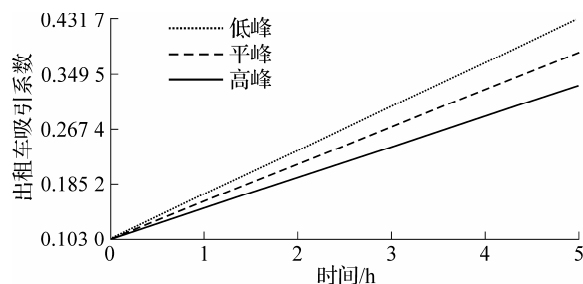


图 3 平峰、高峰和低峰时出租车吸引系数

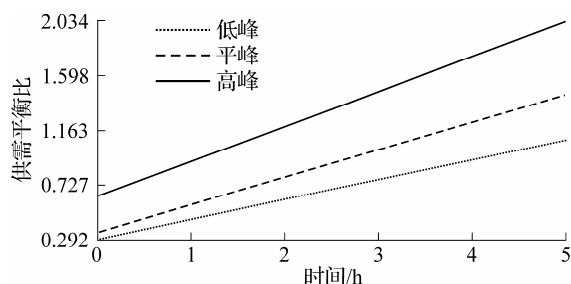


图4 平峰、高峰和低峰时出租车供需平衡比

3 模型应用

以宁波市巡游出租车为应用对象,以市场供需平衡(供需比等于1)为目标,分别模拟高峰、低峰需求水平下动态定价对市场供需状态的影响以及不同网约车分担比下巡游车运价的调整策略。

3.1 高峰、低峰需求水平下巡游车运价动态调整分析

数据表明,高峰时段巡游车需求旺盛,由于高峰交通拥堵,驾驶员出车率较低使得供给不足,加剧了“打车难”的问题。因此,考虑加价来增加收益,调动驾驶员出车积极性,削减高峰客运需求水平,从而实现供需平衡,缓解“打车难”问题。

基于宁波市巡游车加价居民满意度调查数据分析,发现居民高峰能够接受的每公里加价范围为0.4~1元。因此,以0.2作为递增数值,多选取一个下限数值0.2与一个上限数值1.2作为分析对象。如图5所示,以实际高峰需求为基准,线“高峰1”“高峰2”“高峰3”“高峰4”“高峰5”“高峰6”分别表示“时段加价”(即每公里加价额度)为0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2元。如图5(a)所示,通过加价可以调节市场供需平衡状态,线“高峰3”的供需比基本使市场供需达到平衡(取中间段平均值,使供需比为1,下同)。因此,考虑在高峰时段每公里加价0.6元较为合适。此外,如图5(b)、(c)和(d)所示,随着加价额度的增长,虽然巡游车出行比例会下降,但巡游车运营总体收益是增长的。

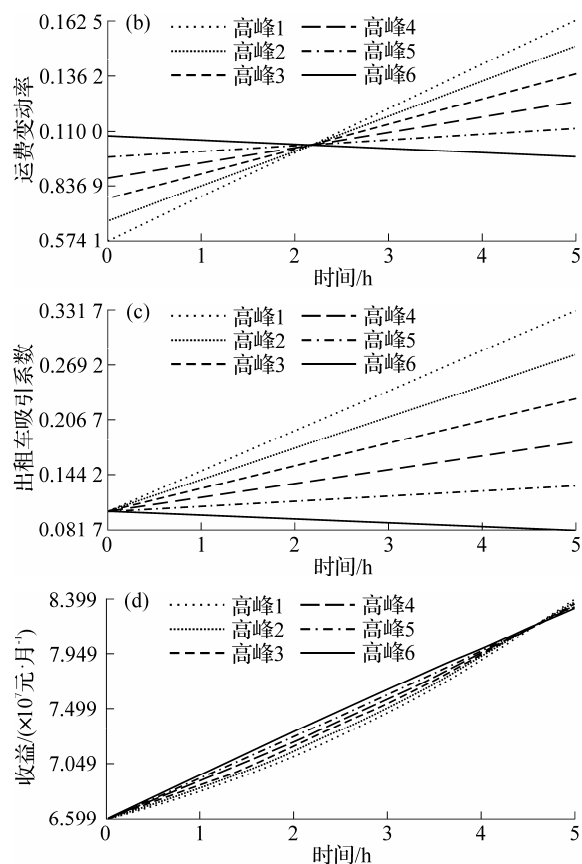
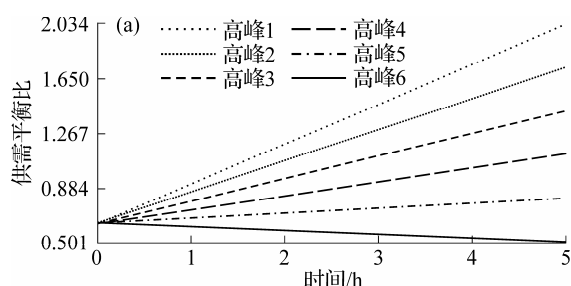


图5 不同加价条件高峰时段出租车运营参数仿真结果

3.2 网约车竞争下巡游出租车运价动态调整分析

以现有市场巡游车和网约车出行占比为基准,进行考虑网约车竞争下巡游车运价调节仿真分析,分为2种情况:(1)随网约车吸引度的下降,巡游车在市场上的运营水平增强(以下称为处于优势);(2)随网约车吸引度的上升,出租车在市场上的运营水平减弱(以下称为处于劣势)。当前二者比例为10:6.5(数据来源于宁波市客管局),以此比例为界限,分别模拟巡游车处于竞争优势(10:4.5)和劣势(10:8)情况下运价动态调整策略。以下通过统计每个月份内居民的出行方式占比,来描述巡游车与网约车的竞争态势。

(1)当二者比值为10:4.5时(取网约车在居民出行方式所占比例为0.045时),图6(a)描述了不同运价调整后巡游车供需关系,其中线“网约车”为对照组,线“4”“3”“2”“1”分别表示将单位运价增加0.2、0.4、0.6、0.8元,发现当单位运价增加0.6元时,供需基本达到平衡状态。

(2)当二者比值为10:8时,图6(b)描述了不同

运价调节下的巡游出租车供需关系, 线“4”“3”“2”“1”分别表示将单位运价减少 0.2、0.4、0.6、0.8 元, 发现当单位运价减少 0.4 元时, 供需基本达到平衡状态.

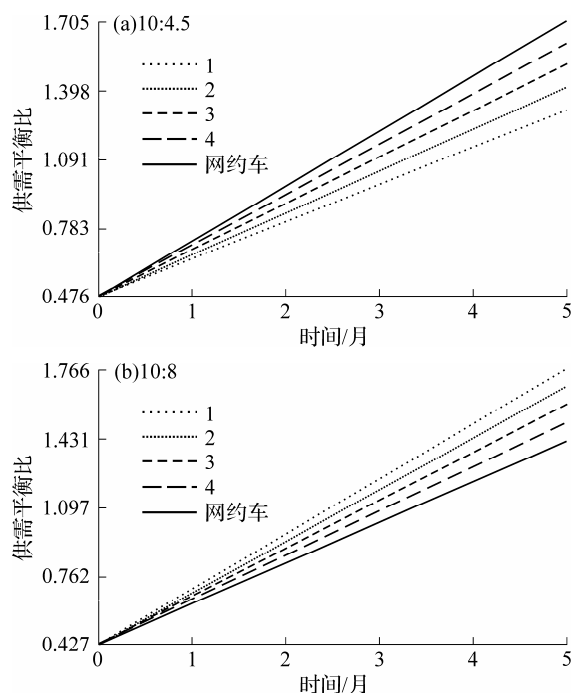


图6 不同出行占比与加价条件下巡游车运营结果

同理, 当巡游车和网约车市场业务量之比约为 10:7、10:7.5、10:8、10:10 时, 巡游车运价下浮分别为 0.1、0.3、0.4、0.6 元·km⁻¹, 可以发现当巡游车处于竞争劣势时, 可适度降低运价, 以期减少损失, 提高自身竞争能力; 当巡游车和网约车市场业务量之比约为 10:6.5、10:5.5、10:5、10:4.5 时, 巡游车加价为 0.1、0.3、0.4、0.6 元·km⁻¹, 可以发现当巡游车处于竞争优势时, 可适度增加运价, 以期获得更大收益. 根据宁波市巡游车管理信息系统和网约车平台反馈数据, 巡游车和网约车市场业务量之比约为 10:6.5, 而网约车从业资格报考为 5 000 余人, 实际通过考试 2 000 余人, 网约车与巡游车在市场业务博弈处于不明朗的局面, 有必要针对二者市场业务占比和竞争关系, 提出不同态势下巡游车运价调整策略.

4 结论

针对巡游出租车运价影响因素的复杂性和多样性, 为了充分体现运价在供需调节中的杠杆作

用, 着重考虑了与网约车竞争关系, 运用系统动力学构建了巡游出租车运价动态调整模型, 以宁波市巡游车和网约车运营数据对模型参数进行了标定, 验证了模型的有效性, 并以市场供需平衡为目标, 分别模拟了高峰、低峰不同需求水平下加价、减价对市场供需平衡状态的影响分析以及不同网约车吸引力水平下巡游出租车运价动态调整策略. 结果表明: (1)高峰时供需平衡比较平峰时高, 低峰时供需平衡比较平峰时低, 这与实际运营数据相符, 说明该模型在处理巡游车定价问题上具有有效性. (2)运价增加 0.6 元·km⁻¹, 可使高峰时段供需接近平衡状态. 加价后有效地抑制了高峰需求水平, 使得选择巡游车出行比例下降, 但仍能保证巡游车运营总体收益增加. (3)当巡游车处于竞争优势(劣势)时, 可适度增加(降低)运价, 以期获得更大收益(减少损失). 当巡游车和网约车市场业务量之比约为 10:6.5、10:5.5、10:5、10:4.5 或者 10:7、10:7.5、10:8、10:10 时, 巡游车加价为 0.1、0.3、0.4、0.6 元·km⁻¹ 或减价为 0.1、0.3、0.4、0.6 元·km⁻¹.

参考文献:

- [1] Fernndez J E, de Cea Ch J, Briones J. A diagrammatic analysis of the market for cruising taxis[J]. Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review, 2006, 42(6):498-526.
- [2] 沈尘.“互联网+出行”模式对传统出租车行业的影响[J]. 对外经贸, 2015, 255(9):76-77.
- [3] 肖赞, 魏朗.“互联网+”背景下我国出租车运价体系改革路径研究[J]. 价格理论与实践, 2016, 23(7):79-81.
- [4] 国务院办公厅. 关于深化改革推进出租汽车行业健康发展的指导意见[J]. 城市规划通讯, 2016, 815(15):1-13.
- [5] 谢仙明. 广州市出租车运价改革研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [6] Manski C F, Wright J D. Nature of equilibrium in the market for taxi services[J]. Transportation Research Record, 1976, 619:11-15.
- [7] Beesley M E, Glaister G S. Information for regulation: The ease of taxi[J]. The Economic Journal, 1983, 93(371): 594-615.
- [8] 吕航. 基于系统动力学的城市客运出租车定价研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [9] 洪麟琳. 基于合乘模式的出租车定价研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.

- [10] 计斌. 城市客运出租汽车基本费率制定研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
- [11] 杨芬娟. 城市客运出租车定价问题的研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [12] Wang X L, He F, Yang H, et al. Pricing strategies for a taxi-hailing platform[J]. Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review, 2016, 93:212-231.
- [13] Wong K I, Wong S C, Yang H. Modeling urban taxi services in congested road networks with elastic demand [J]. Transportation Research Part B Methodological, 2001, 35(9):819-842.
- [14] Yang H, Fung C S, Wong K I, et al. Nonlinear pricing of taxi services[J]. Transportation Research Part A Policy & Practice, 2010, 44(5):337-348.
- [15] 杨阳. 基于系统动力学模型的交通政策模拟与实证研究[D]. 南京: 南京大学, 2014.

System dynamics model for dynamic adjustment of cruising taxi fares

XIE Jin¹, YE Xiaofei^{1,2*}, LIU Wenli¹, ZHENG Pengjun^{1,4,5}, LU Lili^{1,3,4,5}, YE Qiming¹

(1.Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Ningbo 315832, China;

2.Ningbo Port Trade Cooperation and Development Collaborative Innovation Center, Ningbo 315832, China;

3.Ningbo Port and Shipping Logistics Service System Collaborative Innovation Center, Ningbo 315832, China;

4.Ningbo University Sub-center, National Traffic Management Engineering & Technology Research Center, Ningbo 315832, China;

5.Jiangsu Province Collaborative Innovation Center for Modern Urban Traffic Technologies, Nanjing 210096, China)

Abstract: In order to fully exploit the leverage of taxi fare in the balance between supply and demand, a dynamic adjustment model of cruising taxi fares is constructed using system dynamics. Taking the market supply-and-demand balance as the target, in this paper the dynamic increase of price and the influence analysis of price reduction is simulated on the market supply-and-demand balance under different peak and low peak demand levels, and the dynamic adjustment strategy of cruising taxi fares under different levels of ride-hailing attraction. The results of the model show that: (1) when the taxi fare increases by $0.6 \text{ RMB} \cdot \text{km}^{-1}$, the supply and demand in the peak period can be close to the equilibrium state, which effectively inhibits the peak demand level, and ensures the increase of the overall operating income of cruising cars; (2) when the business proportion of cruising cars and online ride-hailing cars is about 10:4.5 and 10:8, respectively, the markup of cruising cars is 0.6 and $-0.4 \text{ RMB} \cdot \text{km}^{-1}$. When the cruising cars are on a competitive advantage side, the moderate markup can attain greater benefits. Otherwise, moderate price reduction is required to boost their competitiveness.

Key words: traffic engineering; taxi; fare; system dynamic theory; supply-demand balance analysis

(责任编辑 韩 超)