

我国城市轨道交通票价调整策略研究

——基于系统动力学方法的仿真分析

内容提要 城市轨道交通票价受到轨道交通运营企业持续发展、城市居民支付能力以及城市财政补贴能力多重限制,轨道交通营收系统处于复杂的社会经济大系统中。本文利用系统动力学研究城市轨道交通票价调整问题,构造出城市轨道交通票价调整的因果关系图及流程图,提出城市轨道交通票价调整的方法和策略,并以某城市为对象进行实例分析,以期科学调整城市轨道交通票价提供借鉴。

关键词 城市轨道交通 轨道交通票价调整 系统动力学 公共交通资源配置

城市轨道交通以其运量大、速度快、安全性高、舒适性好等优势,成为我国大中城市解决交通问题的有效途径。2000年后,中国城市轨道交通开始快速成长,2009-2015年建设里程高达2500公里。许多城市轨道交通骨架建设已经完成,部分城市实现网络化,成为居民出行的主要方式。在政策支持和票价限制下,运营企业通过补贴及其财务自生能力,维持正常运营。然而,随着城市轨道交通成本巨幅增加,城市居民收入不断提升,负担能力增强,城市轨道交通票价调整问题成为当前倍受关注的话题。本文用系统动力学方法研究城市轨道交通票价调整,以期最终实现乘客付费更加合理、公共交通资源配置更趋高效、企业运营更具活力的目标。

一、国内外关于轨道交通票价问题的相关研究综述

早在20世纪60年代就有相关学者展开对城市轨道交通定价方法的研究,城市轨道交通定价如何在乘客利益、企业利益以及政府可承担能力三者之间寻找平衡点,是研究的核心问题。

在国外方面,Doupuch和Drake Samuels(1964)对城市轨道交通票价相关因素进行分析,基于多种运输产品实施差别化定价策略,提出转移定价方法。上世纪80年代形成的诸多城市轨道交通定价理论中,BlyP.H Oldfield R.H.(1986)站在公益性的角度研究城市轨道交通定价问题,提出轨道交通票价等于边际成本的边际成本定价法。该定价方法实现了社会福利的最大化,也是最早的边际理论定价方法。Lam(2000)以利润最大化为目标,在固定票制和计程票制模式下,探索居民出行时间敏感性问题,优化票价结构,构建双层规划模型研究城市轨道交通票价问题。Zhi-chun Li(2009)研究在寡头和双寡头市场机制不同市场条件下的公交定价博弈问题,寻求城市轨道交通运营企业利润最大化和用户路径

选择平衡间的定价问题。Borndorfer et al(2012)分别以需求最大化、收入最大化、利润最大化和效益最大化为目标,提出了基于离散选择模型的非线性优化模型研究城市轨道交通票价问题。

在国内方面,王镜(2008)在总结城市公共交通系统特性的基础上,提出运用博弈论研究城市公共交通票价制定及补贴计算的合理性问题,分析不同方式间价格竞争,研究它们之间的定价策略对自身及其他局中人收益的影响,并建立相应的非合作定价博弈模型。武卫国,罗小强等(2010)在多种交通方式竞争条件下,综合考虑轨道交通的社会效益和经济效益,既保障出行者的广义出行费用最小,又可使轨道交通企业在交通方式竞争中经济效益最大化,提出制定城市轨道交通票价的最优策略。赵文秀(2010)研究了影响城市轨道交通票价的因素,从各个线路所处的不同运营阶段出发,动态构建了上海轨道交通价格体系。唐文彬等(2012)站在客运走廊合作和换乘衔接合作两种不同形式的角度,分别构建双层规划博弈定价模型和一体化定价模型,研究在不同公共交通方式博弈中,局中人利益最大化和乘客出行效益最大化间的博弈关系。胡晓伟(2014)应用博弈论分析了城市客运交通运营者之间的Nash均衡,构建双层规划模型描述运营者之间的经济决策行为,采用GAMS和遗传算法分析不同策略下运营者的效益和社会总成本,分析管理者优化不同客运方式的费率,以及运营者在限定费率下确定各自的服务频率的最大利润问题。吴珂琪(2016)提出,我国城市轨道交通定价策略的研究框架,将补贴作为维持城市轨道交通可持续运营的关键因素,从城市轨道交通系统内部不同利益主体和外部环境研究定价与补贴联动机制出发,构建上层以社会福利最大化和下层以企业利润最大化为目标的双层规划模型。在用系统动力学方法研究票价问题方面,臧宇杰(2005)在

分析城市轨道交通票价制定影响因素的基础上,运用系统动力学的原理和方法,构造出城市轨道交通票价制定的因果关系图及流程图,最终构建城市轨道交通定价模型。帅斌(2006)建立了高速铁路运价制定的系统动力学流程图,利用系统动力学模型进行模拟和控制系统参数。

国内外有很多结合轨道交通企业运营、政府补贴、城市居民选择公共交通出行等多视角研究城市轨道交通票价制定的方法和模型。但是,这些定价方法和模型并没有给出随时间推移制定相应票价调整的方法和策略,本文在诸多研究基础上,以轨道交通运营企业可持续运营和发展为基本出发点,综合考虑城市财政收入与城市居民可支配收入变化及两者间的关系,利用系统动力学构建随时间推移的城市轨道交通票价调整方法和策略。

二、城市轨道交通票价调整机理研究

从企业可持续发展能力的角度,城市轨道交通票价需以轨道交通运营企业成本为基础,以维持城市轨道交通企业不断发展和扩张的需要。另外,城市轨道交通企业应在满足乘客基本出行需求的基础上,尽量控制公共交通出行费用,使整体福利水平得到最大满足。从居民可支配收入和地方公共财政收入的角度来看,一方面,我国城市居民可支配收入和地方公共财政收入均呈现稳定增长趋势,城市居民公共交通负担能力增强。与此同时,也对城市轨道交通安全、舒适、便捷、准时、快速等服务质量方面提出了更高的要求;另一方面,由于城市轨道交通建设速度的不断加快,对财政补贴提出更高的要求,财政支出负担加重。城市轨道交通票价调整受到以下三个方面的限制:

(一)企业经营可持续限制条件

城市轨道交通运营活动中,运营成本由经营成本和财务成本等两类组成。其中,经营成本包括:人员工资和福利费、电力费、修理费、营运费以及管理费等,财务成本主要包括城市轨道交通线路在运营期间应支付的固定资产投资借款及流动资金贷款利息等。轨道交通不同生命周期内企业的负债压力不同。当建设费用及运营成本过高,运营收入难以弥补所有成本时,为维持企业的正常运营“借新债还旧债”,轨道交通财务测算上限是获得合理报酬,下限是弥补现金流。

$$C \geq c_{\min}$$

C 为研究时间范围内城市轨道交通所有收益, c_{\min} 为研究时间范围内城市轨道交通运营企业现金流支出。

一定时期内,城市轨道交通运营企业应满足运输服务的要求,并不断改进服务,积极向乘客提供舒适满意的服务产品。

$$X_j \geq x_j$$

X_j 为城市轨道交通第 j 项服务水平, x_j 为城市轨道交通第 j 项服务水平最低要求。

服务水平能力的提升在财务上则表现为改善相应服务所增加的成本支出。

(二)居民出行可持续限制条件

城市公交票价应该低于乘客出行的最大承受能力。乘客出行承受能力用乘客用于支付公共交通的总费用占可支配收入的比例衡量,居民出行可持续限制条件上限为合理负担,多用多支付,下限为交通支出占可支配收入比例的最大值。票价的提升应当在安全、舒适、便捷、准时、快速等运输产品性能方面有所改善,以满足乘客的心里要求。

$$\frac{\sum L_i P_{\text{票价}}}{P_j} \leq \alpha_{\max}$$

L_i 为一定时期内,乘坐轨道交通第 i 次出行距离, P 票价为城市轨道交通单位票价, P_j 为城市居民可支配收入, α_{\max} 为城市轨道交通支出占可支配收入比例阈值。

$$\frac{X}{x} \geq \frac{P_{\text{调整票价}}}{P_{\text{票价}}}$$

P 调整票价为城市轨道交通票价调整值, x 为改善后的城市轨道交通服务水平, x 为票价调整前城市轨道交通服务水平;

应当让乘客感受到票价调整后,相应的服务水平同时有所提升。

(三)政府财政可持续限制条件

政府投资城市轨道交通运营亏损的补贴不能超过财政警戒状态,即不能超过政府的支付能力。

$$h_t \leq H_{\max}$$

h_t 为第 t 年政府投资城市轨道交通运营亏损的补贴, H_{\max} 为城市财政警戒状态阈值。

综合起来,城市轨道交通票价随时间推移的调整受到企业经营可持续限制、居民出行可持续限制和政府财政可持续限制。

三、城市轨道交通票价调整策略仿真分析

城市轨道交通票价调整需要考虑各种影响因素相互作用。随着时间的推移,相关因素的变化对其他因素产生影响,最终通过内在交互过程作用于城市轨道交通票价。在用其他预测方法对城市轨道交通票价调整进行预测的过程中,存在一个共性的问题,即考虑城市轨道交通营运收入的影响因素太少,导致预测结果可能与实际偏差较大,系统动力学方法恰好能解决这个问题。系统动力学可以研究系统的结构、功能和行为之间的动态关系,寻求较优的系统结构,预测各种因素的变化对目标函数的影响程度。

(一)城市轨道交通票价调整因果关系图

城市轨道交通营收系统是一个复杂的动态系统,各子系统以及各个变量之间都存在着复杂的非线性的相互作用和反馈关系,这些都会不同程度上对票价调整产生影响。系统动力学求解系统动态特性的主要方法是回路

分析法(即因果关系和反馈思想)。因果反馈环能够清楚地表达系统中各要素之间的定性关系,是系统动力学研究中的关键,因果关系图中,主要的反馈环如图1所示。

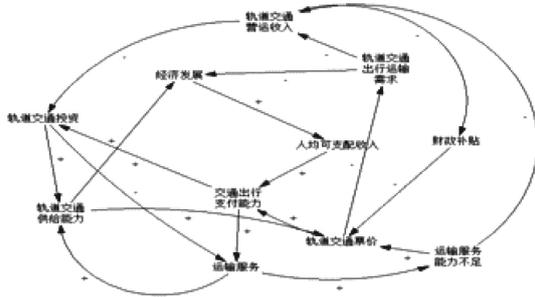


图1 城市轨道交通票价调整因果关系图

图中,运输服务指轨道交通运营企业持续健康运营和发展过程中,在安全、舒适、便捷、准时、快速等运输产品性能方面的改善和提升,核算上用改善和提升运输产品性能的成本支出衡量以满足乘客出行。

各因果链用正负号标明了影响作用的性质。正号表明,箭头指向的变量与箭头源发的变量正相关,将随其增加而增加、减少而减少,而负号则表明变量间负相关。因果反馈环能够清楚地表达系统中各要素之间的定性关系,是系统动力学研究中的关键,因果关系图中,主要的反馈环如下(1)经济发展—+ 人均可支配收入—+ 交通出行支付能力—+ 轨道交通票价—+ 轨道交通运营收入—+ 轨道交通投资—+ 轨道交通供给能力—+ 经济发展(2)经济发展—+ 人均可支配收入—+ 交通出行支付能力—+ 运输服务—+ 运输服务能力不足—+ 轨道交通票价—+ 轨道交通出行运输需求—+ 轨道交通运营收入—+ 轨道交通投资—+ 运输服务(3)财政补贴—+ 轨道交通票价—+ 交通出行支付能力—+ 运输服务—+ 运输服务能力不足—+ 轨道交通运营收入—+ 财政补贴。

反馈环(1)是正反馈环,反映经济发展与城市轨道交通发展间的相互作用机理。反馈环(2)是负反馈环,反映经济发展促进下的城市居民交通出行支付能力提升背景下,对城市轨道交通服务提出了更高的服务要求的反馈关系。反馈环(3)是正反馈环,反映城市轨道交通运营自身的发展。反馈环(4)是负反馈环,反映财政补贴城市轨道交通运营间的相互作用关系。

(二)城市轨道交通票价调整系统流图

为了清晰地描述影响反馈系统的动态性能的积累效应,并把它与其它类型变量分别开来,正确地反映出各变量的更详细、具体的关系,通过流图对模型中各个变量做更进一步的分析。该模型流图如图2所示。

1.状态方程。状态变量代表事物的积累。其数值大小表示某一系统变量在某一特定时刻的状况,是系统过去累积的结果,它是流入率与流出率的净差额。它必须由速率变量的作用才能由某一个数值状态改变另一数值

状态。本文共设置运营成本、居民出行支付能力和财政补贴能力三个状态变量,三个状态方程为(1)运营成本=运营成本基数+时间成本增加值(2)居民出行支付能力=居民出行购买能力基数+时间年人均可支配收入增加值×轨道交通出行花费占比系数(3)财政补贴能力=城市轨道交通票价补贴额×(1+城市财政收入平均增长系数)时间。

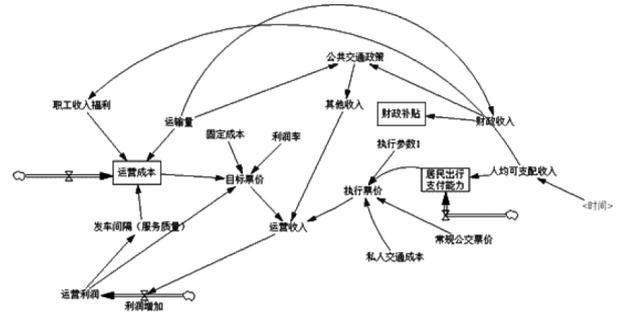


图2 城市轨道交通票价调整系统流图

2.速率方程。本模型有三个速率方程包括成本增加值、年人均可支配收入增加值和城市财政收入平均增长系数三部份。(1)成本增加值=维持企业运营增加的运营成本,需要指出的是维持企业运营增加的运营成本中减去城市轨道交通其他收益,需要由客票收入弥补的部分(2)年人均可支配收入增加值=当前城市年人均可支配收入×年人均可支配收入平均增长系数时间(3)城市财政收入平均增长系数取一定时期内,该城市财政收入的平均增长率。

(三)实例分析

本文利用 Vensim 软件进行城市轨道交通票价调整策略研究。某城市公共财政预算收入平均增速为 11.2%,假设每年投入的城市轨道交通补贴额增长与总体公共财政预算收入增速相等,则每年城市轨道交通补贴额增长 11.2%。该城市城市轨道交通票价成本审核中(含折旧),人工成本占总成本(直接人工成本、工资相关费用和各项保险住房公积金等)的 19.2612%,平均 1.7231 元/人次,平均 0.1472/公里,业务成本(直接电力费、直接修理费、运营和安检费用)占 18.2045,平均 1.6132 元/人次,平均 0.129/公里。购票旅客中,收入在 1500 元以下占比 7.82%,1500-3000 元占比 27.85%,3000-5000 元占比为 47.97%,5000 元以上占比为 16.36%。年人均可支配收入平均增长 9.6%,客流量每年以 2.8% 的速度增长,为了满足运输服务的需要,以及成本增长等原因,人工费和业务费平均每年增长率为 25% 和 11%。将以上数值代入 vensim 仿真软件最终确定未来五年给城市轨道交通票价调整比例 10.1%,10.9%,11.8%,12.25%,12.98%,

表1 城市居民依赖城市轨道交通出行费用占比

城市	上海	天津	重庆	广州	深圳	武汉	南京	沈阳	成都
地铁出行花费占比(%)	4.19-11.67	3.23-12.02	4.19-11.67	2.51-10.57	2.36-12.98	3.90-11.70	2.65-11.93	3.60-7.20	3.52-10.56
城市	西安	哈尔滨	苏州	郑州	昆明	杭州	长沙	宁波	无锡
地铁出行花费占比(%)	3.19-7.98	4.19-0.38	2.57-9.00	3.97-9.93	3.72-13.02	2.69-10.76	3.14-7.85	2.53-7.59	2.71-9.49

统计十八座城市中依赖地铁出行的居民的地铁出行花费占人均可支配收入的比值如表1所示。

结合统计数据进行分析,地铁出行花费占人均可支配收入的比例的上限控制在12%。假设调整周期为五年,将以上数值代入vensim仿真软件计算城市轨道交通每公里票价需提高11.5%。

四、结论与建议

本文利用系统动力学构建随时间的推移城市轨道交通票价调整方法,得到相关变量的变化数据和变化趋势下的最终票价调整值,为分析和判断票价的合理性提供依据。基于城市轨道交通票价调整机理研究和测算,城市轨道交通票价调整的基本出发点为成本和市场效应,需要定期掌握轨道交通成本和市场收益状况作为票价调整的基础,乘客的出行支出承受能力根据出行量界定更加合理。本文对票价调整策略的相关建议如下:

1. 定期厘定轨道交通成本结构和构成。依据城市轨道交通发展现状和客运结构变化,研究典型轨道交通线路客运成本,定期测算典型轨道交通线路基准票价率。具体方案设计要综合考虑城市轨道交通内外部两个方面的因素,从城市轨道交通外部来看,需要权衡经济发展水平变化、财政收入和支出变化、不同旅客群体的支付能力变化、其他运输方式的发展水平与比价关系等;从铁路内部来看,还要结合城市轨道交通不同生命周期的定位、偿债能力以及在运输产品性能方面满足乘客出行的改善和提升所带来的成本支出,考虑客运成本与城市轨道交通未来发展的关系。

2. 政府和企业定期进行客运服务能力和市场效益评估。对城市轨道交通在安全、舒适、便捷、准时、快速等运输产品性能进行定期评价,由政府主导、城市轨道交通企业配合,在广泛征询社会各界意见的基础上,有计划

的对城市轨道交通安全、舒适、便捷、准时、快速等性能进行改善和提升,并建立相应的科学的成本核算标准和制度。

3. 政府相关部门尝试进行差异性票价补贴。地方财政收入变化趋势与城市居民收入间存在正相关关系,地方财政收入高的城市,居民可承受的票价能力也相对较高,票价补贴要综合城市轨道交通企业的运营成本、政府补贴能力和居民收入进行设计。为了保持轨道交通的公益性,政府实施一定额度的补贴,当政府财政无力进行大规模的补贴时,或者通过刷卡数据测算当前的或者调整后的票价水平不对城市居民出行费用构成压力,可以通过对历史刷卡数据的比较和分析,精确定位日常依赖城市轨道交通出行或通勤的人群,针对低收入依赖城市轨道交通出行的群体、老幼病残孕等弱势群体进行差异性补贴。

参考文献:

- [1] Doupuch N, D rake. Accounting implications of a mathematical programming approach to the transfer pricing problem [J]. Journal of Accounting Research, 1964.
 - [2] By P H., O ldfield R. H. The effects of public transport subsidies on demand and supply [J]. Transportation Research Part A, 1986, 20(6).
 - [3] W H K., Lam and J Zhou. Optimal fare structure for transit network with elastic demand [J]. Journal of the Transportation Research Record 2000, 1733(1).
 - [4] 臧宇杰,姜涛.基于系统动力学的城市轨道交通定价方法研究[J].都市快轨交通,2005(6).
 - [5] 帅斌,孙朝苑.高速铁路运价制定的系统动力学模型及仿真[J].西南交通大学学报,2006(2).
 - [6] 汪镜.基于博弈分析的城市公共交通定价及补贴的理论与方法研究[D].北京:北京交通大学,2008.
 - [7] Zhi-Chun Li, William H K., Lam, S C., Wong. The optimal transit fare structure under different market regimes with uncertainty in the network [J]. New Spatial Econ, 2009(9).
 - [8] 武卫国,罗小强,王迎.城市轨道交通票价双层规划模型研究[J].海南大学学报(人文社会科学版),2010(2).
 - [9] 赵文秀.我国城市轨道交通价格策略研究-基于上海市的分析[J].价格理论与实践,2010(3).
 - [10] R. Bomdorfer, M. Karbstein, M. Pfetsch. Models for fare planning in public transport [J]. Discrete Applied Mathematics, 2012, 160(18).
 - [11] 唐文彬,张飞,李晶晶,刘伟.城市轨道交通与常规公交的合作博弈定价模型[J].科技进步与对策,2012(18).
 - [12] 胡晓伟,王健,王雷.城市客运交通运营者经济决策双层规划模型[J].哈尔滨工业大学学报,2014(12).
 - [13] 吴珂琪.城市轨道交通定价及补贴策略研究[D].北京:北京交通大学,2016.
- (作者单位:长安大学经济与管理学院)

Rail Transport Pricing Strategy Based on the System Dynamics Model

Abstract Urban rail transit prices would be influenced by rail transit operation enterprise, urban residents' ability and fiscal subsidies. Rail transportation revenue system is very complex. By analyzing relationship between the urban rail transit and social system and taking advantage of the system dynamics, the causality and flow process charts were constructed to research ticket adjustment, which was expected to be helpful for proper ticket adjustment of urban rail transit.

Keywords Urban Rail Transit; Ticket Adjustment; System Dynamics; Public Traffic Resource Allocation