

改进 Ramsey 模型的城市公共交通分时段定价方法研究

张春勤,陆维特

(浙江理工大学建筑工程学院,杭州 310018)

摘要:考虑城市公交服务均等化、乘客接受程度、地方财政补贴能力等因素,合理确定城市公共交通票价是急需解决的新课题。以改进拉姆齐模型为理论依据,根据客运量的不同,构建分时段的城市公共交通定价模型。利用我国某一地区城市公交的运营数据对所建立的模型进行标定和求解,验证了模型的科学性和有效性,为决策者制定多样化的公交票价结构提供理论依据。

关键词:城市公共交通;公交定价;拉姆齐模型;分时段

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2017) 06-0491-06

城市公交票价结构作为城市公共交通服务体系的关键影响因素,是大范围地推广公交服务均等化的有效手段。公交票价结构的多样性可以为调解公交行业的供需关系提供重要的手段,并有助于乘客根据不同的出行需求选择不同的出行服务。因此,在大力推进城市公交优先的政策指导下,研究建立科学有效的公交定价模型具有重要的现实意义。

目前国内外研究者在公交定价方面取得了一些成果。定价研究方法总体上可分为以社会公平最大化为目标的定价方法和以社会福利最大化为目标的定价方法两类。其中,前者应用最为广泛的方法是边际成本定价方法^[1-3]和价格上限定价方法^[4-5];后者应用最为广泛的方法是拉姆齐(Ramsey)定价方法^[6-8]。在我国,虽然长期以来公交票价制定都有明显的行政指令特征,但受到社会和经济发展的影响,在相关领域研究成果的支撑下,近年来我国学术界也开始尝试从定量角度研究公交票价的定价方法,典型的研究方法有价格弹性分析法和经营博弈法^[9-11]。由于城市公交是一种具有福利性质的准公共服务产品,具有固定成本较高的特性,该特性导致了其平均成本比边际成本高很多。因此,如果采用边际成本定价方法,很可能造成公交运营企业出

现亏损;相反如果采用价格上限定价方法,公交运营企业会通过获得初期最高的价格上限,将公交票价维持在上限的水平,会超出普通居民的承受能力。而拉姆齐定价是在边际成本的基础上增添一个加价,制定的票价介于边际成本与价格上限之间,公交企业在政策补贴的情况下可以获得较为合理的利润,可实现社会福利最大化。此外,拉姆齐定价主要应用于研究城市轨道交通定价,而在城市常规公交定价方面的研究未见相关文献报道。

目前,我国主要基于出行空间、公交服务对象以及公交线路换乘这三个方面的因素设计公交票价结构。在现有的公交票价结构下,乘客可以主动选择的机会并不是很多,特别是对于出行空间和服务对象这两个因素,乘客只能被动接受。但由于乘客的出行习惯,或者集中性出行等原由(如上下班高峰、节假日等)造成某些线路分时段或分时期的拥堵。解决高峰时段的供需矛盾是目前公交行业急需解决的一个主要问题。因此,本文认为基于居民出行时间分布的因素,设计公交票价结构具有一定的合理性和有效性。即根据客运量的不同,采用分时段定价,可以起到缓解公交行业高峰时期供需矛盾的作用。

收稿日期: 2017-05-27 网络出版日期: 2017-12-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51508512);浙江省自然科学基金项目(LQ18E080010);浙江理工大学科研启动基金项目(16052064-Y, 14052220-Y)

作者简介: 张春勤(1985-),女,山东滨州人,讲师,博士,主要从事交通运输经济与政策方面的研究。

通信作者: 张春勤, E-mail: cqzhang@zstu.edu.cn

因此,本文基于改进的拉姆齐模型进行分时段城市公共交通定价研究,并结合我国某一地区公交企业的运营数据对模型进行标定求解,验证建立模型的科学性和有效性。

一、城市公共交通定价影响因素分析

城市公交票价水平的高低直接影响整个社会居民的消费状况以及运营企业自身的生存发展。明确理清城市公交票价的影响因素是建立合理科学的票价模型的前提。

(一)运营成本

运营成本直接影响城市公交票价的制定,是公交票价的下限^[12]。如果公交票价低于运营成本水平,则会造成公交运营企业无法实现收支平衡,从而缺乏生存竞争能力,进而影响公交服务质量的提高。

根据经济学的基本原理,在公交服务市场有效的前提条件下,公交运营成本与客流量呈反方向变化,即公交客流量越大,单位运营成本越小;在公交运营能确定的情况下,增加客流量会带来收入的增长。根据王江等^[13]的分析可得,公交运营成本与客流量存在以下函数关系:

$$C(Q_t) = aQ_t^b \quad (1)$$

式中, a 、 b 为待定常数; Q_t 为时间 t 时的客流量; $C(Q_t)$ 是客流量为 Q_t 的运营成本。

(二)乘客票价承受能力

乘客票价承受能力为城市公交票价设立了上限,表明乘客可接受的价格水平。城市居民的消费结构与消费意向,以及经济收入状况决定了居民的交通支出经济承受能力,居民的交通支出经济承受能力为确定合适的公交票价提供了依据。

(三)公共政策目标

城市公交是公益性事业,因此国家的政策因素对公交企业的发展至关重要。影响公交企业的政策因素包括国家对公交行业的投资、优惠政策与补贴等。在公交优先发展的政策指导下,财政补贴政策是影响公交票价制定的关键因素,可分为专项性补贴和政策性补贴两类。由于专项性补贴与公交票价无关,因此只需考虑政策性补贴即可。政策性补贴如下式所示:

$$S = C_n + T_m + B(Q_t) \quad (2)$$

式中, C_n 为线路等级 n 的固定补贴; T_m 为第 m 种税费减免金额, $T_m = a_m Y_m$, a_m 为第 m 种税费减免比率, Y_m 为第 m 种税费应缴金额; $B(Q_t)$ 可表示为 $B(Q_t) = B_0 + \Delta B = B_0 + c + d(Q_t - Q_0)$,为奖励金

额,其中 c 、 d 为常数, B_0 为奖励的基准部分, Q_0 为最低客流量。

(四)乘客接受程度

公交乘客接受程度通过影响公交运营成本进而影响公交票价的制定,而公交票价的变动反过来又影响到公交乘客接受程度。因此,乘客接受程度是影响公交票价的主要因素之一,它直接表现为线路的实载率:

$$\gamma(p) = \lambda_n P^n + \lambda_{n-1} P^{n-1} + \cdots + \lambda_1 P + \lambda_0 \quad (3)$$

式中, $\gamma(p)$ 为公交票价 P 下的线路实载率; $\lambda_n, \lambda_{n-1}, \cdots, \lambda_1, \lambda_0$ 为常系数。

(五)市场竞争状况

城市公交服务是一种准公共产品,是政府倡导的出行方式,政府会采取补贴政策调整其他替代产品(如出租车)的竞争。因此,在政府政策调控下,公交服务和其他交通方式的竞争是有序可控的。

上述五方面因素的关系如图1所示。

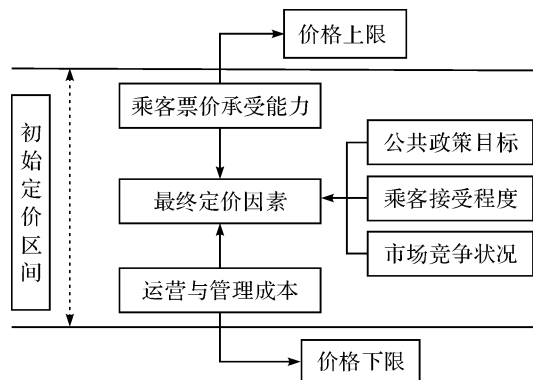


图1 城市公交票价的影响因素之间关系

二、城市公共交通定价模型构建

(一)定价原理

公交票价结构的多样性可以为调解公共交通行业的供需关系提供重要的手段,并有助于乘客根据不同的出行需求选择不同的出行服务。目前,我国主要基于以下三个方面的因素设计公交票价结构。一是基于出行空间的考虑,如较短的市区线路大部分采用单一票制,而较长的市郊或郊区线路则采用分段计程票制;二是基于服务对象的考虑,如对学生、老年人、残疾人等特殊人群实行票价优惠或减免,对长期使用公交的乘客实行累积打折;三是基于公交线路换乘的考虑,如提倡优惠换乘。在现有的票价结构下,乘客能主动选择的机会并不是很多,特别是对于出行空间和服务对象这两个因素,乘客只能被动接受。同时,也不利于发挥市场选择机制,实

现公交行业的效益性。

由于乘客的出行行为习惯,或者集中性出行(如通勤高峰、节假日等)等原因造成某些线路分时段或分时期的拥堵。对于每条线路,不同时段或时期,居民的出行需求是不同的,会形成客流的高峰、平峰和低谷。以 A 市居民公交出发时间分布为例(见图 2),由图 2 可知,A 市居民公交出发时间存在早高峰(7:00—9:00)和晚高峰(18:00—19:00),这两个高峰时段的客运量占全天客运量的 42.7%。全天不同时段客运量的巨大差异致使公交企业难以通过短期的客运调度协调供需矛盾。如果通过增加公交车辆缓解高峰时期的供需矛盾,则又可能造成低峰时期运能的浪费。因此,对公交行业而言,解决高峰时段的供需矛盾是目前急需解决的一个主要问题。本文认为,基于居民出行时间分布的因素,设计公交票价结构具有一定的合理性和有效性。即根据客运量的不同,采用分时段定价,可以起到缓解公交行业高峰时期供需矛盾的作用。

所谓分时段定价,是根据客运量的不同,制度相应的票价,以实现降低高峰客运量,提高低峰客运量的目的。实施过程需注意高峰时段转移问题。如果在高峰时段实行高票价,可能会造成了尽量赶在高峰时段出行,但不想支付高峰时段票价的乘客会选择在高峰时段节点的两侧出行,从而形成新的高峰时段。为了防止此情况发生,可以在高峰时段两侧的时间段再制定一个次高票价,即在高峰时段实行最高票价,高峰时段两侧的时间段票价次之,其他时段票价最低。

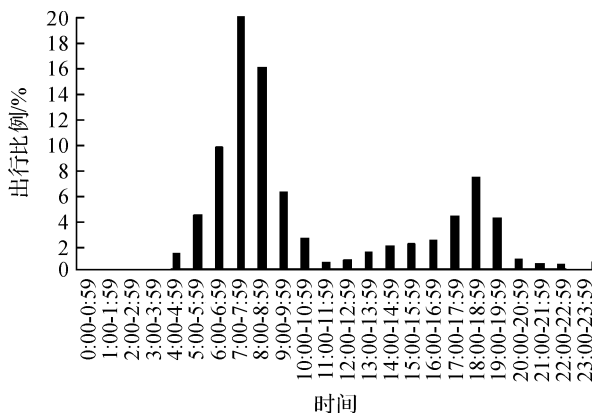


图2 A市居民公交出发时间分布图

由于城市公交服务产品具有边际成本递减的特性,采用边际成本定价法会导致公交运营企业亏损,为解决此问题,在 Ramsey 的征收比例税的次优方法基础上,Baumol 和 Bradford 提出了拉姆齐定价法,作为对边际成本定价的改进,适用于定价受政府

管制的公用事业等自然垄断行业^[9]。拉姆齐定价法实际上是一种次优价格定价法,制定的产品价格高于其边际成本,能在一定程度上弥补总成本的投入^[13]。

(二)建模思路

根据以上分析,影响城市公共交通票价的因素主要包括:运营成本、客运量、财政补贴额度以及居民接受程度,而且这些影响因素之间相互关联。本文以 Ramsey 模型为理论基础,根据不同的客流量,建立分时段城市公交定价模型,模型中考虑政府财政补贴额度条件变量,建立居民接受程度模型,用于检测公交运营成本是否处于可接受区域。若判定结果落在接受区域内,则终止模型求解,得到最优票价;否则,进入下一个计算循环,直至通过接受模型的检测。具体建模思路如图 3 所示。

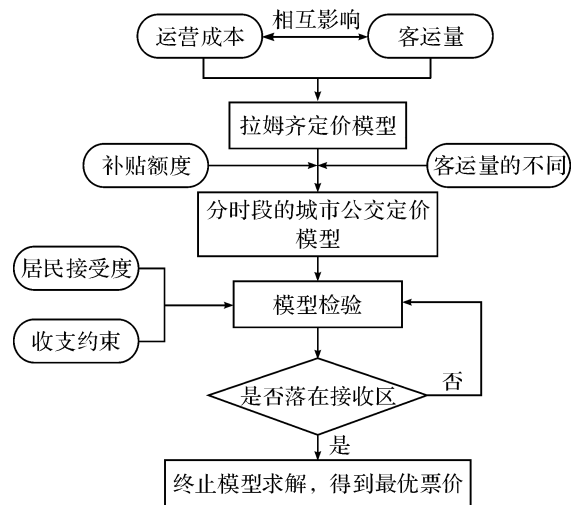


图3 城市公共交通定价模型建模思路

(三)模型构建

首先,不区分客流量的情景下,构建所有时段公交定价模型;其次,根据客流量的不同,构建分时段公交定价模型。

1. 所有时段城市公交定价模型

根据次优价格理论及拉姆齐模型,用最优利润确定目标函数,引入拉格朗日乘数,目标函数最大化为:

$$\max \pi(Q_t) = \int_0^{Q_t} P dQ_t - C(Q_t) + \lambda(PQ_t - C(Q_t))$$

$$St. PQ_t - C(Q_t) \geq 0$$

(4)

式中, Q_t 为在时间 t 时公交票价 P 下的客运量; $C(Q_t)$ 为客运量为 Q_t 条件下的运营成本; λ 为拉格朗日乘数。

根据极值原理,进一步整理得到:

$$P^* = \frac{MC(Q_i)}{1-R/|\epsilon_*|} \quad (5)$$

式中, P^* 为根据拉姆齐定价方法制定的价格; $MC(Q_i)$ 为城市公交边际成本。假设拉姆齐系数为 $R = \lambda / (1 + \lambda)$; $|\epsilon_*|$ 为城市公交票价为 P^* 时的价格需求弹性的绝对值。

由公式(5)可知, 拉姆齐定价比边际成本高, 公交运营企业可以获得合理的利润, 而且对 ϵ 敏感。公交需求弹性低时, 公交定价高, 反之亦然。这与一般有形产品定价相反, 但符合城市公共交通定价的特点。

在拉姆齐定价基础上考虑财政补贴之后, 可得到所有时段城市公共交通定价的基本模型如下式所示:

$$P' = P^* - S' = \frac{MC(Q_i)}{1-R/|\epsilon_*|} - S' \quad (6)$$

式中, P' 为所有时段的票价; $S' = S/Q_i$ 为单位补贴额度。

2. 分时段城市公交定价模型

分时段定价主要依据公交服务市场上乘客对公交票价的敏感性不同, 即乘客对价格需求弹性系数不同, 按照运营时段、客流量等不同情况分时段定价。

由于通勤高峰期间, 乘客更关注于时间的紧迫性以及出行的便捷性, 从而对价格的敏感性弱, 即此时段的价格需求弹性小, 与低峰时段的价格需求弹性不同。当公交服务市场存在明显的高低峰时, 便可以在同一市场, 根据乘客对票价的敏感性不同制定不同的价格, 即分时段定价。拉姆齐模型应用于高峰和低峰不同时段, 便有:

$$\frac{P^* - MC(Q_i)}{P^*} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_*} \quad (7)$$

$$\frac{P^* - MC(Q_i)}{P_2 - MC_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_*} \quad (8)$$

式中, P_1 、 P_2 分别为高峰时段与低峰时段的定价; MC_1 、 MC_2 分别为高峰时段与低峰时段的边际成本; ϵ_1 、 ϵ_2 分别为高峰时段与低峰时段公交服务市场的价格需求弹性系数。

将财政补贴额度为变量条件纳入定价模型, 得到高峰时段和低峰时段最终票价分别为 P'_1 和 P'_2 , P'_1 和 P'_2 可由公式(9)和(10)计算得到。

$$P'_1 = P_1 - S' \quad (9)$$

$$P'_2 = P_2 - S' \quad (10)$$

(四) 模型参数确定

1. 边际成本 $MC(Q_i)$ 确定

边际成本实际上是公交运营成本对客流量的导数, 即:

$$MC(Q_i) = \frac{dC(Q_i)}{dQ_i} = \frac{daQ_i^b}{dQ_i} = abQ_i^{b-1} \quad (11)$$

式中, a 、 b 为待定常数, 可通过所研究城市现有的运营数据推知; Q_i 可通过预测得到。

2. 单位补贴额度 S' 确定

根据上述假设, 单位补贴额度 $S' = S/Q_i$, 政府补贴额度 S 为已知条件, Q_i 可通过预测得到。

3. 拉姆齐系数 $R = \lambda / (1 + \lambda)$ 确定

R 的取值大小决定了拉姆齐定价偏离边际成本的距离, 因此可通过拉姆齐模型制定的票价与边际成本之间的关系确定得到适合的拉姆齐系数 R 。

4. 价格需求弹性系数 ϵ 确定

目前国外学者 Litman^[14] 和国内学者张明海等^[15-17] 对公交票价的价格需求弹性系数 ϵ 进行了研究, 他们并没有研究高低峰时段的 ϵ , 而国外学者 Litman^[14] 对此进行了研究, 其结果如表 1 所示。本文考虑到高低峰时段的 ϵ 会有所不同, 以国外学者 Litman^[14] 的研究结果为依据, 并结合我国城市具体状况, 确定合适的公交票价的价格需求弹性系数。

表 1 公交票价的价格需求弹性系数

阶段弹性值	城市状况	
	100 万人口以上	100 万人口以下
所有时段的平均值	-0.36	-0.43
高峰时段的平均值	-0.23	—
非高峰时段的平均值	-0.42	—
高峰时段值	-0.18	-0.27
低峰时段值	-0.39	-0.46

注: 高峰时段的平均值是指调查期内所有高峰时段的票价弹性系数, 而高峰时段值是指调查期内最高峰时段的票价弹性系数。

5. 乘客接受程度 $\gamma(P)$ 的确定

确定一个允许的乘客接受范围(如 $\gamma(P) \geq 60\%$), 如果乘客接受程度不在允许范围内, 则可以通过式(12)计算 Q_i , 通过增加政府补贴额度 S 进而调整最终公交票价, 重新计算 $\gamma(P)$, 直至乘客接受范围达到允许范围为止。

$$Q_i = Q_{i-1} + \frac{1 - \gamma(P)}{1 + \gamma(P)} * Q_{i-1} \quad (12)$$

三、实例分析

(一) 数据来源及分析

A 市有一家国有独资公交集团, 拥有 154 台公交车辆, 经营 7 条公交线路, 线路总长度 122.45 km,

2014 年年总客运量 2730 万人次,2014 年年总运营里程 841.47 万公里。剔除不相关因素之后,得到本模型所需的运营数据,整理如表 2 所示。

表 2 公交客运集团主要运营成本科目

序号	项目	数据
1	线路长度	122.45 km
2	客运车辆	154 台
3	年客运量	2730 万人次
4	车公里运营成本	3.10 元
5	实载率	61.2%
6	政府补贴	231.42 万元
7	运营成本	2904.79 万元

另外,根据 Litman^[14]对公共交通票价的价格需求弹性系数的总结,结合当地的实际情况,确定所有时段的价格需求弹性系数选择 $\epsilon_s = -0.36$,高峰时期 $\epsilon_1 = -0.23$,低峰时期 $\epsilon_2 = -0.42$ 。

(二)模型求解与结果分析

1. 求解边际成本 $MC(Q_i)$

对公式(1)两边求对数,得到:

$$\ln C(Q_i) = \ln a + b \ln Q_i \quad (13)$$

为求出待定系数 a 和 b ,考虑到公交车辆、线路、员工数等同样可能会是影响运营成本的变量,调查 A 市公共交通有限公司 2011 年至 2014 年的公交车辆、线路、员工数等运营数据,发现 2013 年与 2014 年 A 市公共交通有限公司的公交车辆、线路、员工数几乎没有变化。因此,利用 2013 年和 2014 年这两年的运营数据对公式(13)进行回归分析,其中 A 市 2013 年的营运成本为 2893 万元,年客运量达到 2702 万人次,得到:

$$\ln C(Q_i) = 5.0613 + 0.3681 \ln Q_i \quad (14)$$

将回归结果代入边际成本公式,得到:

$$MC(Q_i) = \frac{dC(Q_i)}{dQ_i} = abQ_i^{b-1} = 0.392 \text{ 元}$$

2. 城市公交定价模型求解

由所有时段的弹性系数选择 $\epsilon_s = -0.36$,可得所有时段的拉姆齐定价为:

$$P^* = \frac{MC(Q_i)}{1-R/|\epsilon_s|} = \frac{MC(Q_i)}{1-R/0.36} = \frac{0.392}{1-R/0.36}$$

其中, $0 \leq R < 0.36$ 。拉姆齐定价与边际成本关系如图 4 所示。由图 4 可知, R 取值大小决定了拉姆齐定价偏离边际成本的距离大小,在 $0 \leq R < 0.22$ 范围内,定价增长较为平缓;在 $0.22 \leq R < 0.36$ 范围内,定价急速增大。因此,对于所有时段, R 的合理取值应在 0.22 左右。

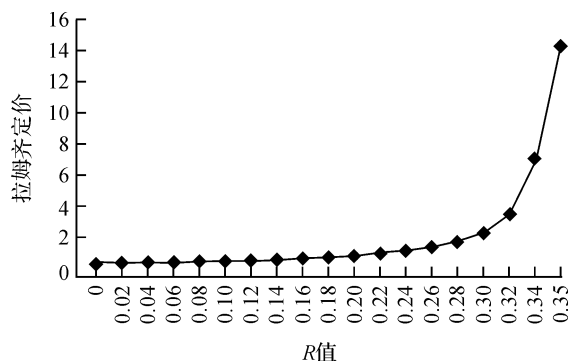


图 4 拉姆齐定价与边际成本关系

将单位补贴额度 $S' = S/Q_i$ 代入公式(6),得到所有时段城市公交票价为 $P' \approx 1.0$ 元。

根据公式(7)、(8)、(9)和(10),得到高峰时段和低峰时段的公交票价分别为 $P'_1 \approx 1.5$ 元和 $P'_2 \approx 0.7$ 元。

3. 乘客接受程度分析

通过问卷调查等形式可以得到不同运价率下的乘客接受程度值,然后利用线性拟合分析方法确定 $\lambda_n, \lambda_{n-1}, \dots, \lambda_1, \lambda_0$ 的参数值。根据调查数据拟合得到实载率与票价的函数关系式为:

$$\gamma(P) = -0.0909P^3 + 0.4242P^2 - 0.3888P + 0.6755 \quad (15)$$

将城市公共交通票价 P' 、 P'_1 和 P'_2 代入公式(15)求得平均实载率 $r(P) = 72.33\%$ 。此时的实载率率比之前提高了 11.13%,并在乘客接受范围内。因此,根据以上模型确定的票价是有效的。

由计算结果可知,与所有时段票价相比,A 市高峰时段票价和低峰时段票价分别有不同程度的增幅和减少,但差距不大。A 市可采用三类时段票价,即在高峰时段实行高峰票价,在高峰时段两侧实行次高票价(即所有时段票价),在其他时段实行低峰票价。

目前,A 市公交票价的支付方式主要有两种,即现金支付和公交卡支付。为了便于公交运营企业的管理和乘客的支付票价便利性,可采用以下建议的支付方式:即当乘客采用现金支付购买公交次票时,不区分高峰票价和低峰票价,实行统一票价(所有时段的票价);使用公交卡支付公交次票时则要区分高峰票价和低峰票价。提高公交分担率,达到缓解 A 市高峰时期供需矛盾的作用。

四、结 论

本文对城市公共交通票价影响因素进行了定性与定量分析,根据客运量的不同,以拉姆齐模型为理论基础,建立了分时段的城市公交分时段定价模型。

该模型综合考虑政策补贴和乘客接受能力等因素,具有可操作性且易于理解,为决策者制定出多样化的票价结构提供了理论依据,是定价理论在城市公交发展新形势下的创新与补充。另外,随着政策的修订或其他影响因素的出现,可以方便地对模型进行修改完善以适应新的要求,以供决策者根据政策目标选取最优票价。

参考文献:

- [1] MOHRING H. The benefits of reserved bus lanes, mass transit subsidies, and marginal cost pricing in alleviating traffic congestion[J]. *Current Issues in Urban Economics*, 1979, 122(6): 559-565.
- [2] VUUREN D V. Optimal pricing in railway passenger transport: theory and practice in The Netherlands[J]. *Transport Policy*, 2002, 9(2): 95-106.
- [3] DEB K, FILIPPINI M. Estimating welfare changes from efficient pricing in public bus transit in India[J]. *Transport Policy*, 2011, 18(1): 23-31.
- [4] BLY P H, OLDFIELD R H. An analysis assessment of subsidies to bus services[J]. *Transportation Science*, 1986, 20(3): 200-212.
- [5] ANAS A. The optimal pricing, finance and supply of urban transportation in general equilibrium: A theoretical exposition[J]. *Economics of Transportation*, 2012, 1(1): 64-76.
- [6] JORGENSEN F, PEDERSEN H, SOLVOLL G. Ramsey Pricing in Practice: the Case of the Norwegian Ferries [J]. *Transport Policy*, 2004, 11(3): 205-214.
- [7] BASSO L J, GUEVARA C A, GSCHWENDER A, et al. Congestion pricing, transit subsidies and dedicated bus lanes: Efficient and practical solutions to congestion [J]. *Transport Policy*, 2011, 18(5): 676-684.
- [8] 李艳杰. 基于拉姆齐模型的城市轨道交通定价研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [9] 王镜. 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.
- [10] 陈宽民, 罗小强. 城市快速轨道交通合理票价的博弈分析[J]. *长安大学学报: 自然科学版*, 2005, 25(4): 52-55.
- [11] 史小特. 基于博弈论的城市公共交通定价模型研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2015.
- [12] BAUMOL W J, DAVID F. BRADFORD. Optimal Departures from Marginal Cost Pricing[J]. *American Economic Review*, 1970, 60(3): 265-283.
- [13] 王江, 王镜. 博弈分析视角下的城市公共交通定价与补贴[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
- [14] LITMAN T. Transit Price Elasticities and Cross-Elasticities[J]. *Journal of Public Transportation*, 2004, 7(2): 37-58.
- [15] 张明海. 上海市公交价格需求弹性估计[J]. *上海管理科学报*, 2004, 6: 28-29.
- [16] 孙蔑, 严作人. 公交需求价格弹性计算和公交政策建议 [J]. *城市交通*, 2006, 20(5): 2-7.
- [17] CHUNQIN ZHANG, ZHICAI JUAN, QINGYU LUO. Performance evaluation of public transit systems using a combined evaluation method[J]. *Transport Policy*, 2016, 45: 156-167.

Research on the Time-based Pricing of Urban Public Transport Based on Improved Ramsey Model

ZHANG Chunqin, LU Weite

(School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Taking into account the equalization of urban public transport service, passenger acceptance and the ability of the local financial subsidies, a reasonable determination of urban public transport fare is a new topic which needs to be resolved urgently. According to the different passenger volume, time-based pricing model is established on the basis of improved Ramsey model. The survey data of urban public transport in an area is used to calibrate and solve the model. The result verifies the scientific and effectiveness of the model. The theoretical basis is provided for making diversified fare structure.

Key words: urban public transport; pricing; ramsey model; time-based

(责任编辑: 钱一鹤)