

基于竞争力分析的快速公交系统服务优化

李林波, 吴 兵, 王艳丽

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 提升公交竞争力是公交可持续发展的关键, 从行为视角对公交竞争力进行分析可以更好地契合出行者的需求, 可以提出更加有效的改善目标. 通过建立快速公交系统(BRT)竞争力模型, 采用结构方程模型对竞争力进行解析, 在乌鲁木齐现场数据调查的基础上进行模型求解. 研究表明, 乘客满意度是提升公交竞争力的关键, 也是服务质量对 BRT 竞争力施加影响的中介变量, 因此只有针对乘客需求的服务改善才是有效的, 根据模型结果对 BRT 服务改善给出了相应的建议.

关键词: 交通管理; 快速公交系统竞争力; 行为视角; 服务优化

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

Bus Rapid Transit Service Optimization Based on Competitiveness Analysis

LI Linbo, WU Bing, WANG Yanli

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201084, China)

Abstract: Improving the competitiveness of public transport is critical to the sustainable development of public transport. Analyzing the competitiveness of public transport from the perspective of behavior can meet the needs of travelers better and achieve the goal more effectively. The bus rapid transit (BRT) competitiveness model was established and the structural equation model method was used to do analysis. Based on the data surveyed at the scene of the Urumqi, the competitiveness model was estimated. The results show that the passenger satisfaction is the key factor in promoting the competitiveness of BRT, and it is also the intermediary variable of service quality influencing BRT competitiveness, therefore only that service improvements specific for passenger demand are effective. Based on model results, some corresponding suggestions were provided for BRT service improvement.

Key words: traffic management; competitiveness of bus rapid transit; behavioral perspective; service optimization

公共交通竞争力是在一定交通环境下, 与其他满足可比性的交通方式相比, 所具有的吸引居民出行量的能力^[1], 显然, 提升快速公交系统(BRT)的竞争力, 不仅要使 BRT 的服务水平能够达到人们可以接受的程度, 更要提高到可以与其他交通方式相抗衡的水平. BRT 的竞争目标主要有两类群体: 既有乘客(一般乘坐 BRT 出行的人)和潜在乘客(一般采用小汽车出行的人). 对于潜在乘客, BRT 缺乏一定的竞争力; 但对于既有乘客, BRT 是有一定的竞争空间的. 然而, 在机动化快速发展的过程中, 这种竞争力受到了很大挑战, 留住客户的策略比吸引潜在客户以扩展市场的策略要有效可靠得多^[2], 且获取新客户的成本比保留老客户的成本一般也要高得多^[3]. 如果将 BRT 看作出行服务产品, 顾客就是乘客, 乘客选择 BRT 出行可以视为乘客对于出行服务产品的忠诚度. 将乘客忠诚度概念引入交通领域进行出行行为研究具有清晰的理论基础^[4-5], 因此, 本文主要关注 BRT 既有乘客的忠诚度, 认为提高既有乘客忠诚度的措施是提升 BRT 竞争力的有力手段.

1 理论模型建立

乘客忠诚度是乘客在行为上重复公交出行、积极为公交出行方式作宣传和推荐, 并且不易受到外界特别是其他竞争出行方式诱惑的一种情感上的委身^[6], 受到乘客社会经济属性、出行属性以及交通设施特性的影响. 鉴于竞争力的比较属性, 这里重点考察交通设施特性因素, 即 BRT 服务质量、小汽车吸引力以及乘客进行方式转换所需的成本等因素的影响^[7]. 因此, 以 BRT 服务质量、小汽车吸引力和转移

成本、乘客满意度、乘客忠诚度等作为潜变量,构建模型量化作用关系。由于研究涉及到了 5 个潜变量,既要分析各潜变量的因果关系(路径分析),同时还需要分析每个潜变量与其对应测量指标间的因子负荷关系(因素分析),故采用集“因素分析”与“路径分析”于一体的结构方程模型(structural equations models, SEM)来分析 BRT 的竞争机理^[8-9]。

乘客忠诚度可以从态度忠诚和行为忠诚 2 个方面考虑^[10],共设计了 6 个测量指标。乘客满意度是乘客基于实际出行感受对公共交通提供服务喜欢不喜欢的程度^[11],共设计了 3 个测量指标。无论是既有乘客还是潜在乘客,小汽车在名声、形象和服务质量等方面存在的吸引力都会对 BRT 竞争力造成负面影响^[12],因此小汽车吸引力定义为 BRT 乘客对小汽车出行服务质量的认可及使用小汽车出行的意愿,共设计了 4 个测量指标。BRT 乘客的出行方式转移成本是指 BRT 乘客在由 BRT 出行转向小汽车出行时,所承受的心理上和经济上的损失^[13],对该变量的测量主要从金钱成本和心理成本两方面考虑,共设计了 5 个测量指标。

BRT 服务质量反映了乘客对 BRT 性能的一种感知,是从乘客角度反映的乘客对 BRT 服务的感知的整体指标^[14],从时效性、舒适性、经济性因子、自由性四方面设计测量指标。时效性主要涉及乘客对出行时间的感知指标;舒适性则涉及到 BRT 运营状态、服务态度、信息更新以及环境安全等指标^[15];经济性主要涉及出行者的费用问题;自由性则体现了 BRT 设施为乘客出行过程提供的便利条件以及出行费用带来的心理压力。基于 SERVQUAL 量表^[16],确定了 27 项测量指标。

对各潜变量间的关系进行假设^[4],并建立 BRT 乘客忠诚度影响因素概念模型,如图 1,图中双向箭头弧线表示外生潜变量之间的相互作用关系,单向

箭头直线表示外生潜变量对内生潜变量的作用,正负号表示变量之间所假设的正面或负面作用关系。

2 问卷调查分析

乌鲁木齐市共有 9 条 BRT 线路。2014 年 11 月 12 日早(8:30—11:00)、中(13:00—15:00)、晚(18:00—20:30)高峰时段在 10 个 BRT 站点进行了问卷调查,共发放问卷 800 份,回收 750 份,对回收问卷进行整体筛选,剔除填写不清、错填、漏填、关键信息自相矛盾的问卷,最终获得有效问卷 678 份,有效回收率为 85%。

2.1 调查数据基本信息

调查数据男女比例为 55:45,与乌鲁木齐总人口男女比例 52:48 稍有差异,可能与工作性质及当地的天气、气候等有关;出行者年龄分布以 20~50 岁为主导,占到 85%,可以说 BRT 出行的主体为青壮年劳动者;汉族占到出行人数的 67%,其次为维吾尔族 26%,在站点设计和交通语言标示上需要兼顾两大民族的需求;出行行人的教育程度以大专/本科学历最多,达到 58%,且大专/本科、高中/中专/技校两类学历达到出行行人总数的 87%,因此在站点设计方面,需要注重文化氛围的渲染,以更加积极向上的元素引导出行者的内在心态,从而为城市活力的促进做出贡献。通过交叉比较分析可知,不同年龄阶段的教育程度存在较大的差异,比如教育程度为初中及以下学历当中以 61 岁及以上这个年龄阶段的群体居多,说明需要针对弱势群体加强信息服务的简易性。

2.2 问卷信效度检验

问卷信度反映了问卷测量结果的稳定性及一致性,利用 SPSS19.0 分析各指标的 CITC 及各维度的 Cronbach α 系数,发现 5 个潜变量的 Cronbach α 值均大于 0.7,说明各变量的测量指标具有较好的内在一致性;所有测量项目的 CICT 指标都大于 0.30,因此保留所有的测量项目。

问卷的内容效度主要通过反复讨论、对问卷进行核对和检验、与出行者访谈及进行预调查来保证;结构效度则通过对样本进行探索性因子分析来检验。通过 KMO 样本测度和 Bartlett 球体检验,表明样本适合做因子分析。对乘客忠诚度、满意度、小汽车吸引力和转移成本 4 个潜变量的测度项进行探索性因子分析,发现表 1 中的 CL5、CL6 和 SC1 违反了区别效度应予以剔除,剩下的 15 个测度项归属于 4

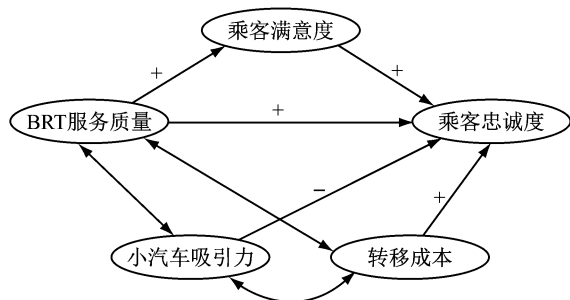


图 1 快速公交系统竞争力分析概念模型及变量间假设关系
Fig.1 Conceptual model of BRT competitiveness analysis and hypothetical relations among variables

个因子,共提取4个特征值大于1的因子,累计解释方差变动为69.620%。各题项均能反映到预先设定的维度上,且在单一因子上的负荷均大于0.500,不存在跨因子载荷(cross-loading),说明问卷具有较好的收敛效度(convergent validity)与区别效度(discriminate validity)。各指标负荷见表1。

表1 快速公交系统竞争力模型潜变量内涵与因子分析负荷

Tab.1 Potential variable connotation and factor analysis load of BRT competitiveness model

潜变量	测量指标编号	题项	负荷
乘客忠诚度	CL1	我愿意采用公交出行	0.835
	CL2	我愿意推荐他人使用BRT	0.782
	CL3	即便有其他的交通方式供我选择,BRT仍然是我的首选	0.642
	CL4	我准备长期采用BRT出行	0.695
	CL5	我会向他人推荐BRT出行	
	CL6	相比于其他出行方式,我更加喜欢乘坐BRT	
乘客满意度	CS1	总的来说,我对BRT出行很满意	0.732
	CS2	总的来说,BRT提供的服务与自己的最初期望很相符	0.801
	CS3	采用BRT出行,我得到了自己想要的服务	0.743
小汽车吸引力	CA1	我非常希望可以使用小汽车	0.816
	CA2	与BRT出行相比,小汽车可以给我提供更高质量的出行服务	0.841
	CA3	我很喜欢开车,喜欢驾车的感觉	0.773
	CA4	驾驶或者乘坐小汽车能够给我带来巨大的成就感	0.707
转移成本	SC1	对我来说,购买小汽车的费用很高	
	SC2	对我来说,小汽车的使用费用很高,如燃油费、停车费等	0.640
	SC3	要适应小汽车出行,将会花费我较大的时间和精力	0.789
	SC4	我担心从BRT到小汽车的转变,会打乱我原有的日常生活安排	0.800
	SC5	我担心小汽车出行其实没有自己想象中的那么方便,可能会有意想不到的情况发生	0.738

由于服务质量的观测指标达到27个,对其进行降维处理,发现表2中T4、T5、T23和T24违反了区别效度应予以剔除,剩下的23个测度项归属于4个因子,可解释总体方差为66.762%,说明这4个因子能较好地解释代表原来的23个测度项。各指标负荷见表2。

3 模型实证研究

基于对调查数据的初步处理结果,将表1、表2中的CL5、CL6、SC1、T4、T5、T23、T24变量剔除,最终确定各变量的测量指标共38个,将所建立的理论

表2 服务质量因子构成与因子负荷

Tab.2 Factor composition and factor load of service quality

服务质量指标	测量指标编号	题项	负荷
时效性指标	T1	我对乘坐BRT时所需的换乘时间很满意	0.778
	T2	我对乘坐BRT时所需的等车时间很满意	0.786
	T3	我对乘坐BRT时所需的车内时间很满意	0.692
舒适性指标	T4	我对乘坐BRT时所需步行到站时间满意	
	T5	我感觉BRT的车内环境良好,温度适宜	
	T6	BRT站台等车很舒适	0.658
	T7	我乘坐BRT时,车辆行驶平稳	0.672
	T8	我感觉司乘人员服务态度好	0.700
	T9	公交公司对乘客的意见能及时答复	0.633
	T10	服务人员对我乘客的询问能耐心解答	0.654
	T11	BRT的到站准时	0.631
	T12	BRT的报站准确	0.669
	T13	变化运营线路或时间能够及时通知公众	0.694
	T14	公交线路查询系统正常,信息更新及时	0.696
	T15	在BRT车上感到安全,不担心财务被盗	0.657
	T16	我对BRT的运行安全放心	0.681
	T17	我在BRT站台等车时感觉安全	0.685
	T18	天气情况不会影响到BRT的服务质量	0.651
经济性指标	T19	我觉得公交票价很合理	0.869
	T20	我觉得公交的换乘优惠很有吸引力	0.740
自由性指标	T21	对我来说,乘坐BRT所支出的费用很高	0.730
	T22	我觉得乘坐BRT时换乘方便	0.502
	T23	BRT车内站台的信息能满足我的需求	
	T24	BRT的运营时间能满足我的需求	
	T25	乘坐BRT时,可以舒服地读书看报	0.783
	T26	乘坐BRT时,可以自由地打电话与聊天	0.689
	T27	乘坐BRT时,我能够很好地休息	0.698

模型具体转化为结构方程模型的路径如图2所示,其中潜变量以椭圆形表示,显变量以长方形表示, e_n 表示相关变量的随机误差。

模型标定前先检验模型整体可识别性。待估参数92个,测量变量的数目为38个,模型中待估参数数目少于测量变量中方差和协方差的总数,满足过度识别的条件,初步认为可进行拟合分析。使用AMOS24.0分析软件对模型进行分析,初始模型评价结果表明需要进行修正以改进初始模型的拟合程度,输出的模型修正指数(modification indices)如表3所示。对初始模型的修正可以从改变测量模型(释放误差相关性,即设定误差相关)和限制参数取值两方面进行,但实际修正时并不能单纯从统计的角度拟合数据,而应当从理论及实践的角度对模型中存在的缺陷和不足进行改进,以获取更具价值的模型。

首先考虑增加误差相关项,从表3中数据可以看出增加T22与其他多个指标的误差相关性都会有效减少卡方值,提升模型拟合度。这一方面说明T22与其他指标都有很强的相关关系,另一方面也说明

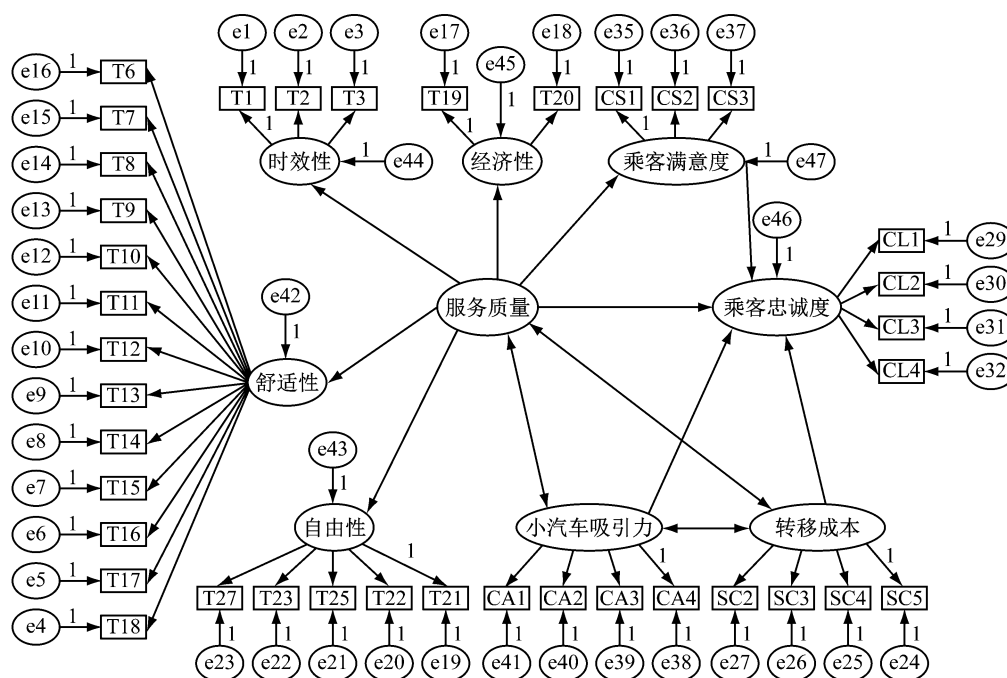


图 2 快速公交系统竞争力结构方程模型路径

Fig.2 Path diagram of structural equation model of BRT competitiveness

该指标代表的意义可以通过其他指标反映出来. 由于增加 T22 与其他指标的相关关系会增加模型的复杂度, 因此在不影响自由性因子的解释程度的前提下考虑删除 T22. 此外, 在进行模型修正时, 最好逐次释放假定, 而不是一次释放多个假定, 即一次只要修正模型中的一个参数, 每修正一个参数即进行模型检验, 而不要将数个固定参数同时改为自由参数. 因为同时释放多个参数, 其下降的卡方值并不等于原先个别释放参数的修正指标值的总和, 应先根据最大的修正指标值来修正模型.

其次, 对模型中不显著的参数值限定为零来对模型进行改进. 分析发现模型中 BRT 服务质量与乘客忠诚度的假设关系没有达到显著水平 ($p = 0.192 > 0.05$), 表明该参数对应的假设在统计意义上不成立, 因此将该假设路径删除.

经过上述修正后对模型参数进行拟合, 模型拟合指数^[7]如表 4 所示. 各项模拟指标全部满足合理值, 说明修正后的模型具有统计意义, 同时模型的建立是基于顾客忠诚度以及公交出行相关理论, 因此, 该模型也具有现实理论意义.

表 3 模型修正指标

Tab.3 Modification indices of model

共变关系假定	修正指标值	对应变量变化
e20 ↔ e43	42.860	-0.092
e20 ↔ e45	52.747	0.149
e40 ↔ e41	41.647	0.173
e29 ↔ e30	26.353	0.138
e21 ↔ e20	27.941	-0.116
e18 ↔ e20	39.951	0.131
e17 ↔ e29	20.442	0.139
e15 ↔ e16	31.925	0.105
e14 ↔ e15	32.738	0.112
e12 ↔ e13	21.900	0.092
e10 ↔ e9	26.123	0.110
e8 ↔ e9	28.919	0.110
e4 ↔ e5	52.495	0.160
e2 ↔ e31	27.229	0.099

注: ↔ 表示双向共变关系.

表 4 修正后模型拟合指数

Tab.4 Fitting index of modified model

类别	名称	指标拟合值	判断标准
绝对拟合指数	NC	2.406	>1 且 <3
	SRMR	0.060	<0.08
	RMSE	0.046	<0.06
增值拟合指数	NFI	0.910	>0.90
	CFI	0.945	>0.90
简约拟合指数	PNFI	0.834	>0.50
	PGFI	0.777	>0.50

模型参数标定结构如图 3 所示, 其中, 淡色显示的路径关系是在初始模型基础上增添的显变量之间的相关关系, T22 以及 BRT 服务质量与乘客忠诚度之间的路径在模型修正过程中被剔除. 最终模型反映了 BRT 竞争力模型要素之间的关系及相互影响, 主要路径关系如表 5 所示.

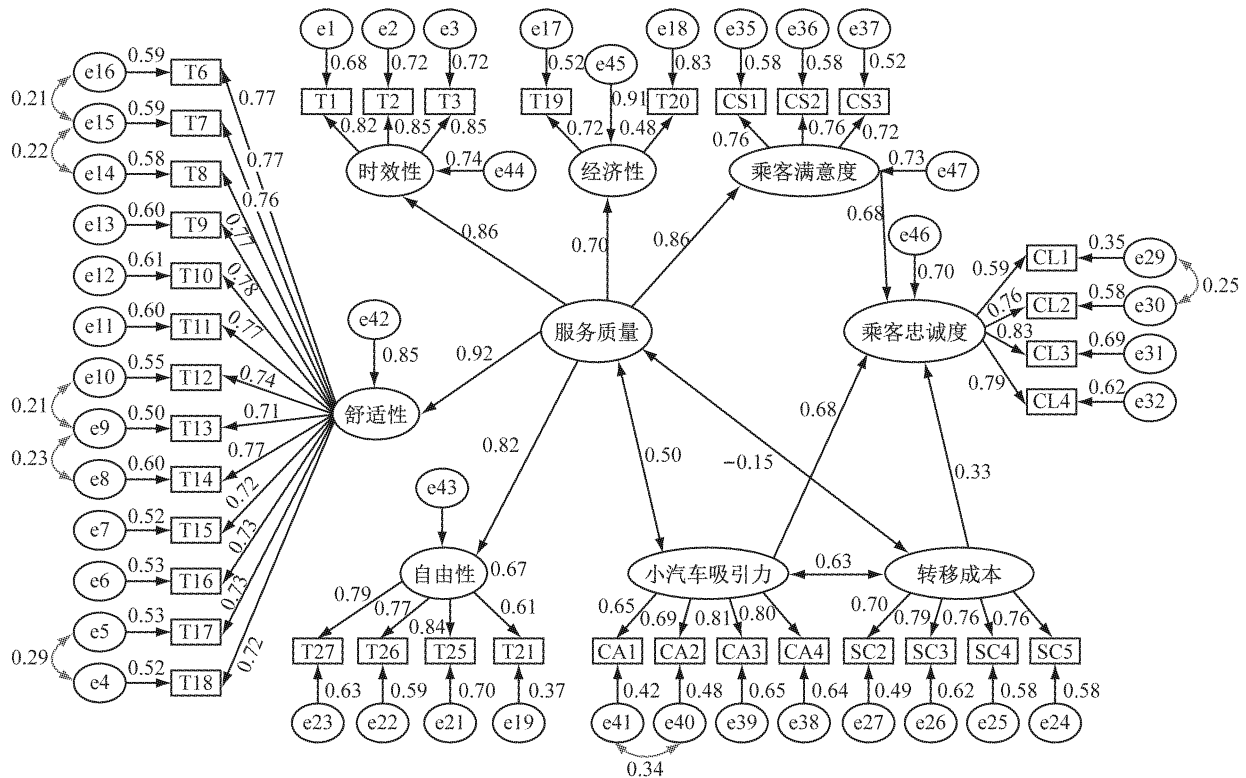


图3 快速公交系统竞争力结构方程模型最终标定结果

Fig.3 Final calibration results of structural equation model for BRT competitiveness

表5 最终模型主要路径关系参数

Tab.5 Parameters of main path relations in the final model

路径关系	系数	标准化系数 ¹⁾	标准化误差	临界比值	P 值 ²⁾
服务质量 \longleftrightarrow 转移成本	0.349	0.684	0.038	9.308	***
服务质量 \longleftrightarrow 小汽车吸引力	0.277	0.496	0.034	8.074	***
小汽车吸引力 \longleftrightarrow 转移成本	0.527	0.634	0.049	10.709	***
乘客满意度 \longleftrightarrow 服务质量	1.187	0.857	0.098	12.057	***
乘客忠诚度 \longleftrightarrow 乘客满意度	0.561	0.675	0.052	10.760	***
乘客忠诚度 \longleftrightarrow 小汽车吸引力	-0.105	-0.149	0.033	-3.150	0.002
乘客忠诚度 \longleftrightarrow 转移成本	0.252	0.327	0.045	5.571	***
经济性 \longleftrightarrow 服务质量	1.000	0.696			
时效性 \longleftrightarrow 服务质量	1.376	0.861	0.110	12.545	***
舒适性 \longleftrightarrow 服务质量	1.265	0.924	0.103	12.231	***
自由性 \longleftrightarrow 服务质量	1.313	0.821	0.110	11.966	***

注:1)标准化系数表示变量间的直接影响程度;2)***表示P值小于0.001;3) \longleftrightarrow 表示从右到左的路径关系。

4 结果分析与建议

根据表5,在服务质量的影响因子中,舒适性因子的荷载(0.924)远高于其他因子,表明BRT的服务质量水平主要受到舒适性因子的影响,从表2可以发现舒适性因子主要包含3个方面的涵义:一是身体感知的舒适,如站台设施完善,运行平稳等带来的舒适感(0.775);二是心理感知的舒适,如服务人员的友善和运营信息的及时告知所带来的安心(0.774);三是环境安全带来的归属感(0.728)。因

此,BRT服务舒适性的提高主要在于围绕身心感知舒适的软硬件两方面的建设以及安全环境的营造。

时效性因子是出行的关键,对服务质量的影响达到0.861,主要体现在等车(0.825)、乘车(0.847)和换乘(0.846)的时间上,因此,BRT车辆的调度水平直接关系到时效性的保障,要尽量避免乘客等车时间过长。经济性的影响不大(0.696),表明BRT票价并没有对乘客构成一定压力,可以维持现状。

值得注意的是,BRT服务水平对乘客忠诚度并没有构成直接影响,而是通过乘客满意度作为中介变量产生作用(间接影响程度达到了0.579),这与已

有一些研究是契合的^[17],表明服务质量的提升必须以满足乘客需求为逻辑起点,才能更好地达到吸引乘客的目的,也就是说服务必须是面向需求的,否则投入再多,也于事无补。

乘客满意度对忠诚度的影响程度达到 0.675,因此提升乘客满意度是确保忠诚度的关键要素;尽管出行者对小汽车出行的偏好和喜爱会在一定程度上降低其对 BRT 的忠诚度(-0.149),但方式转移成本在心理和经济上对乘客乘坐 BRT 的忠诚度造成的影响更大(0.327)。

总体来说,服务水平作为 BRT 的内部竞争因素,其作用强度(0.579)大于外部竞争因素小汽车吸引力和转移成本的作用强度之和(0.476),这表明提升 BRT 的竞争力的重点在于 BRT 服务质量水平的改善,如:①完善站台设施,在站台设计方面注重文化氛围的渲染,以更加积极向上的元素引导出行者的内在心态;②增加发车频率,特别是高峰期间需要采用高频调度方案;③对 BRT 进行信号优先控制;④改善服务人员态度;⑤在站点设计和交通语言标示上需要兼顾两大民族的需求,针对弱势群体加强信息服务的简易性等。当然,外部要素的辅助作用也不容忽视,如增加小汽车停车费、燃油费等使用成本等。

5 结语

从行为视角对公交竞争力进行分析,引入了乘客忠诚度的概念,对影响公交竞争力的 5 个潜变量 BRT 服务质量、小汽车吸引力和转移成本、乘客满意度、乘客忠诚度进行了因素分析与路径分析,构建了结构方程模型,并利用乌鲁木齐 BRT 调查数据进行了模型求解,根据模型结果给出了提高 BRT 竞争力的相关的建议。

研究发现乘客满意度是提高 BRT 竞争力的关键,定量化的优化方法可为 BRT 服务的改善提供思路 and 依据。但模型结果是基于乌鲁木齐 BRT 调查数据所得,故应用于其他地区还需基于实际数据进行标定或验证。

参考文献:

- [1] 白玉方. 公交竞争力影响因素研究[D]. 上海: 同济大学, 2012.
BAI Yufang. Study on factors affecting public transport competitiveness[D]. Shanghai: Tongji University, 2012.
- [2] AHMAD R, BUTTLE F. Customer retention management: A reflection of theory and practice[J]. *Marketing Intelligence & Planning*, 2002, 20(3): 149.
- [3] REICHHELD F F. Loyalty-based management[J]. *Harvard Business Review*, 1992, 71(2): 64.
- [4] LI L, BAI Y, SONG Z, *et al.* Public transportation competitiveness analysis based on current passenger loyalty[J]. *Transportation Research Part A: Policy & Practice*, 2018, 113(1): 213.
- [5] ANDRE C L, LI Mingfeng. Survey-based measurement of transit customer loyalty: Evaluation of measures and systematic biases[J]. *Travel Behaviour and Society*, 2019, 15(1): 102.
- [6] OLIVER R L. Whence consumer loyalty? [J]. *Journal of Market*, 1999, 63(4): 33.
- [7] KIM M K, PARK M C, JEONG D H. The effects of customer satisfaction and switching barrier on customer loyalty in Korean mobile telecommunication services [J]. *Telecommunications Policy*, 2004, 28(2): 145.
- [8] 吴明隆. 结构方程模型——AMOS 的操作与应用 [M]. 2 版. 重庆: 重庆大学出版社, 2010.
WU Minglung. Structural equation model—the operation and application of AMOS [M]. 2nd ed. Chongqing: Chongqing University Press, 2010.
- [9] ALLEN Jaime, EBOLI Laura, CARMEN Forciniti, *et al.* The role of critical incidents and involvement in transit satisfaction and loyalty[J]. *Transport Policy*, 2019, 75(1): 57.
- [10] CHOU J S, KIM C. A structural equation analysis of the QSL relationship with passenger riding experience on high speed rail: An empirical study of Taiwan and Korea [J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(3): 6945.
- [11] JOMNONKWAO S, RATANAVARAH V, KHAMPIRAT B. Factors influencing customer loyalty to educational tour buses and measurement invariance across urban and rural zones[J]. *Transportmetrica A: Transport Science*, 2015, 11(8): 659.
- [12] MINSER J, WEBB V. Quantifying the benefits [J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2010, 2144(1): 111.
- [13] 侯文霞. 基于结构方程模型(SEM)的顾客忠诚度研究——以快速消费品行业为例[D]. 东营: 中国石油大学 2009.
HOU Wenxia. Study of customer loyalty based on structural equation model: Case study in a fast-moving consumer goods industry[D]. Dongying: China University of Petroleum, 2009.
- [14] CALVO Erick, FERRER Mario. Evaluating the quality of the service offered by a bus rapid transit system: The case of Transmetro BRT system in Barranquilla, Colombia [J]. *International Journal of Urban Sciences*, 2018, 22(3): 392.
- [15] 云美萍, 王文. 基于智能手机的公交运行舒适性测度指标研究 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 2017, 45(8): 1143.
YUN Meiping, WANG Wen. Smart phone based research of measurement indexes related to bus riding comfort[J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2017, 45(8): 1143.
- [16] PARASURAMAN A, ZEITHAML V A, BERRY L L. Servqual [J]. *Journal of Retailing*, 1988, 64(1): 12.
- [17] CARUANA A. Service loyalty: The effects of service quality and the mediating role of customer satisfaction[J]. *European Journal of Marketing*, 2002, 36(7/8): 811.