

# 基于定价因素和服务水平的公共汽电车票价制定方法

## ——以青岛市为例

赵向宇<sup>1</sup>, 杜光远<sup>2</sup>, 钟朝晖<sup>2</sup>, 夏齐<sup>3</sup>

(1. 交科院技术咨询(北京)有限公司, 北京 100029; 2. 交通运输部科学研究院, 北京 100029; 3. 青岛市交通运输局运输事业发展中心, 山东 青岛 266061)

**摘要:** 面对城市公共汽电车客运量下滑严重、财政补贴额度大幅上涨的压力, 亟须制定符合新常态下城市发展特征的可持续公共汽电车票价政策。将公益性和市场化相结合, 统筹考虑政府负担能力、居民经济承受能力和公共汽电车与城市轨道交通比价关系, 对公共汽电车票价制定方法开展研究。以青岛市为例, 通过与同类型城市进行对比, 分别讨论人次票价成本比、运营补贴占城市财政收入比例、公共汽电车出行支出占居民收入比例、公共汽电车与城市轨道交通比价关系4个定价因素对公共汽电车票价制定的影响, 确定平均人次票价初步方案为1.35元。构建由准则层4个指标、指标层14项指标构成的公共汽电车服务水平评价指标体系, 基于服务水平综合评价结果调校确定平均人次票价为1.40元。结果显示, 在这一票价水平下4个定价因素均处于青岛市合理目标范围。

**关键词:** 公共汽电车; 票制票价; 票价成本比; 运营补贴; 平均人次票价; 服务水平; 青岛市

**Bus Transit Fares Based on Pricing Factors and Level of Service: a Case Study of Qingdao**

ZHAO Xiangyu<sup>1</sup>, DU Guangyuan<sup>2</sup>, ZHONG Zhaohui<sup>2</sup>, XIA Qi<sup>3</sup>

(1. Technology Consulting Co., Ltd. of China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China; 2. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China; 3. Transportation Development Center, Qingdao Municipal Transport Bureau, Qingdao Shandong 266061, China)

**Abstract:** With the substantial decline in urban bus transit passenger volumes and significant increase in fiscal subsidies, it is imperative to formulate a sustainable bus transit fare policy that aligns with the characteristics of urban development under the new normal. Combining public welfare and marketization and taking into account the government's capacity, residents' affordability, and the pricing relationship between bus transit and urban rail transit, this paper explores the pricing method for bus transit fares. Taking Qingdao as an example and comparing it with similar cities, the paper addresses the impact of four pricing factors on the pricing of bus transit fares: the passenger fare-cost ratio, the proportion of operating subsidies to urban fiscal revenue, the proportion of expenditure on bus transit fares to residents' income, and the pricing relationship between bus transit and urban rail transit. A scheme of preliminary average passenger fare is determined to be ¥1.35. An evaluation index system is developed for bus transit level of service that consists of four criteria and 14 indicators at the index level; the final average passenger fare is adjusted to ¥1.40 based on the comprehensive evaluation results. The results show that at this fare level, all the four pricing factors are within the reasonable target range for Qingdao.

**Keywords:** bus transit; fare pricing; fare-cost ratio; operating subsidies; average passenger fare; level of service; Qingdao

收稿日期: 2023-08-02

作者简介: 赵向宇(1991—), 男, 山西太原人, 硕士, 研究方向为交通运输规划与管理, 电子邮箱 253443330@qq.com。

通讯作者: 杜光远(1983—), 男, 山东济南人, 硕士, 副研究员, 研究方向为交通运输规划与管理, 电子邮箱 178315211@qq.com。

## 0 引言

自《国务院关于城市优先发展公共交通的指导意见》(国发〔2012〕64号)出台以

来, 多数城市将公共交通作为一项基本均等化服务和民生保障, 保持其公益性和低票价的定位。然而, 现有公共汽电车票价制定机制不能很好地适应公共交通的网络化发展需

要，且受新型冠状病毒肺炎疫情影响，居民出行发生结构性改变，多数城市公共汽电车客运量下滑严重，经营企业的票款收入与运营成本严重倒挂，财政补贴额度呈大幅上涨趋势，企业和政府都难以继。同时，单一的低票价已经不是居民选择公共汽电车出行的主要因素<sup>[1]</sup>，优质优价成为乘客更加关注的内容。因此，公共汽电车票价制定应兼顾其服务的公益性和经营性，实现公共交通服务的有效供给和公益性释放<sup>[2]</sup>。

A. A. Waiters<sup>[3]</sup>和 R. Turvey<sup>[4]</sup>对以边际成本为主要因素的公路运输票价制定进行深入研究。梁科科等<sup>[5]</sup>基于城市公共汽电车客流调查数据，构建客流转移模型，提出4种可操作的票制票价方案。张智勇等<sup>[6]</sup>从公共汽电车票价的影响因素入手，研究确定票价制定的影响指标，并应用系统动力学构建票价模型。文子慧<sup>[7]</sup>以系统动力学作为理论方法研究城市公共交通票价仿真模型，对未来的城市公共汽电车需求进行仿真预测，从而完善票价制定理论。刘敏等<sup>[8]</sup>以公共汽电车运营盈亏平衡里程为主要考虑因素，提出中小城市公共汽电车票价制定应根据居民出行距离特征实行里程计价方案，从而提升票款收入。

已有研究多是首先建立各种基于成本和收益的票价制定模型，再与同类型城市横向对比确定公共汽电车最终票价。票价制定流程没有充分考虑不同城市的财政负担能力、对公共汽电车的定位与要求，以及政府和乘客分担运营成本比例间的平衡，更缺少对城市公共汽电车服务质和量的结合分析。因此，公共汽电车票价制定应当将公益性和市场化相结合，票价水平既要保证政府、企业、乘客三方可持续性，又要在一定程度上反映公共汽电车服务水平。

## 1 票制票价调整目标

随着城市轨道交通线网规模不断扩张，原有低廉且无层级划分的票价政策已经无法适应公共交通网络化运行和差别化运营要求，且票价与成本差距日益增大，公共交通的可持续发展和服务能力有待提升。因此，2014年北京市开展了公共交通票制票价调整工作，同步对城市轨道交通和公共汽电车进行调整，将原有一票制全部改为里程计价

制，并提高了票价，优化了各类优惠政策。公共交通票制票价调整后，乘客出行费用与出行距离挂钩，城市轨道交通和公共汽电车间也拉开了服务距离和价格的差异化层次，公共汽电车平均人次票价由2013年0.54元提高至1.31元，税后票款收入由25.9亿元上升至52.3亿元<sup>[9]</sup>，居民公共汽电车通勤费用占可支配收入比例由1.1%上升至2.4%，票款收入占运营成本比例由15.6%上升至38%<sup>[10]</sup>。

自2014年以来，合肥、十堰、宜昌等多个城市也相继开展了公共汽电车票制票价调整，建立了与乘客出行距离相挂钩的票价制定机制(见表1)。票价调整虽然短期内会使公共汽电车客流量下滑10%左右<sup>[11]</sup>，但有利于促进公共交通健康可持续发展。

各城市公共汽电车票制票价调整的原则均是保证公共汽电车公益性定位、公平性服务和健康可持续发展，在此基础上实现如下目标：

- 1) 政府平衡各项公共服务支出，在兼顾公益性和成本的定价原则下进行票价提升，使公共汽电车票款收入占运营成本的比例达到35%~45%、公共汽电车财政补贴占市本级预算收入比例降低至1.3%~1.8%，在保证公共汽电车服务水平的前提下提高财政资金使用效率。
- 2) 根据多乘坐多付费和优质优价原则适当提高乘客负担比例，使居民平均公共汽电车出行成本占可支配收入比例达到1.8%~2.4%。
- 3) 建立不同交通方式间的合理比价关系，通过价格杠杆实现公共交通内部资源的合理配置，公共汽电车与城市轨道交通票价比价关系保持在1:1.5~1:3范围。

表1 不同城市公共汽电车票制票价调整方案

Tab.1 Cases of bus transit fare adjustments in different cities

城市	调整年份	调整方式	主要调整内容
合肥	2018年	一票制计价方式不变，仅调整票价	不区分空调车型，所有车型票价由1元一票制调整为2元一票制，同步实施90 min换乘优惠政策
北京	2014年	一票制调整为按里程计价	1元一票制调整为：≤10 km，起步价2元；>10 km每加1元可多乘5 km
十堰	2018年	一票制调整为按公共汽电车线路长度分层的一票制计价	1.5元一票制改为按线路里程计价：≤10 km，1.5元；>10~20 km，2元；>20~30 km，3元；>30~40 km，4元；>40~50 km，5元

资料来源：合肥市物价局《关于合肥市公交票价的批复》(合肥服〔2018〕19号)；《北京市发展和改革委员会北京市交通委员会北京市财政局关于调整本市公共交通价格的通知》(京发改〔2014〕2526号)；十堰市物价局《关于调整十堰市城区公交票价的通知》(十价费文〔2018〕28号)。

## 2 票价制定技术路线

科学合理的公共汽电车票价水平需要保证以下各项都在一定合理区间范围内：政府对公共汽电车政策性运营亏损补贴的比例、居民可接受程度、公共汽电车与其他交通方式的比价关系、公共汽电车服务的性价比(质量和价格关系)。公共汽电车票价制定本质上是确定票价(普通票价和各类优惠票价)和票制。北京、深圳、上海、兰州等城市的部分公共汽电车线路采取里程计价制，普通地级市基本采取一票制。票价制定需要综合考虑城市规模、公共汽电车线网布局、居民出行特征等因素，基础是确定平均人次票价水平，核心定价因素是人次票价成本比。

平均人次票价指票款收入与客运总量的比值，代表公共汽电车全体乘客出行一次的平均费用，是普通票价以及各类优惠减免政策的综合反映。确定平均人次票价水平后，再以此为目标导向，确定票制和票价优惠政策。

人次票价成本比指公共汽电车票款收入与运营成本的比值，体现政府和乘客分担公共汽电车运营成本的比重。本文采用的人次票价成本比这一核心定价因素倾向于让政府在运营成本负担中占据主要地位，体现公共汽电车的公益性定位。除此之外，本文还加入运营补贴占城市财政收入比例、公共汽电车出行支出占居民收入比例、公共汽电车与城市轨道交通比价关系等定价因素。综合考虑政府对这4个定价因素的可承受目标范围

以及同类型城市平均水平，确定平均人次票价初步方案；再通过构建可量化、可对比的公共汽电车服务水平评价模型，对平均人次票价初步方案进行调整，得到最终平均人次票价方案。城市公共汽电车票价制定技术路线见图1。

## 3 青岛市平均人次票价初步方案

2020年，青岛市成为国家公交都市建设示范城市，对公共交通网络化运营和覆盖率不断提升提出了明确要求。同时，现行的2001年票价政策与物价水平变化引发的公共汽电车运营成本持续自然增长的矛盾日益突出。从青岛市政府2015—2017年对公共汽电车运营企业成本审计结果来看，公共汽电车运营成本从24.3亿元增长至28.3亿元，票款收入从6亿元下降至4.8亿元，票款收入占运营成本比例由24.8%下降至17.2%；2017年公共汽电车客运量8.49亿人次，平均人次票价水平仅0.58元，亏损和补贴额度均大幅上涨。因此，在公共汽电车网络化运营以及与城市轨道交通融合发展的新时期，应综合考虑公共汽电车运营成本、公众承受能力、财政补贴等因素，对青岛市公共汽电车票制票价进行合理调整，促进公共汽电车健康可持续发展。

### 3.1 人次票价成本比

选择与青岛经济水平和城市规模相近的厦门、武汉、济南、合肥、兰州、上海、广

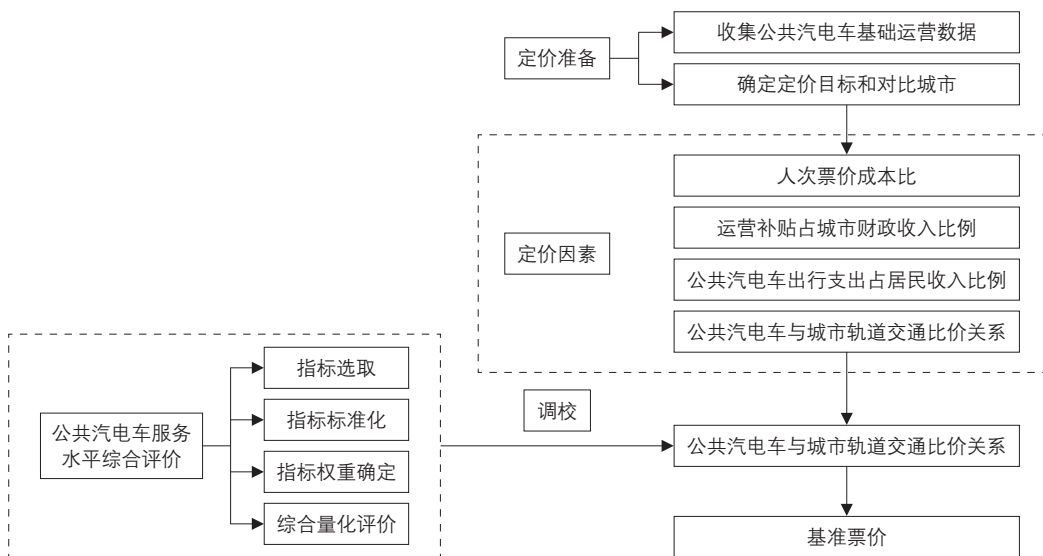


图1 城市公共汽电车票价制定技术路线

Fig.1 Technical path for the formulation of urban bus transit fares

州7个中心城市数据进行对比分析(见表2)。7个城市公共汽电车平均人次票价为1.09元,平均人次成本为2.75元,人次票价成本比为39.6%,而青岛市人次票价成本比仅为17.2%。要达到同类型城市人次票价成本比平均值,青岛市平均人次票价需要提高到1.34元。

### 3.2 运营补贴占城市财政收入比例

由表3可以看出,青岛市公共汽电车政策性亏损补贴占市本级一般公共预算收入比例高于同类型城市平均值。将青岛市公共汽电车亏损补贴占一般公共预算收入比例降低至同类型城市平均水平,则平均人次票价可以调整为0.67元。

### 3.3 公共汽电车出行支出占居民收入比例

公共汽电车出行年均支出=各城市公布的公共汽电车平均人次票价×公共汽电车人均日出行次数(2次)×365。按照公共汽电车人均日出行2次估算,同类型城市居民公共汽电车出行年均支出为830元,城镇居民可支配收入48774元,公共汽电车出行支出占居民收入比例为1.70%(见表4)。青岛市居民公共汽电车出行支出占居民收入比例仅为0.90%,以同类型城市平均值1.70%为基准,则青岛市公共汽电车平均人次票价应该调整为1.10元。

### 3.4 公共汽电车与城市轨道交通比价关系

公共汽电车和城市轨道交通两种公共交通方式间应根据运输能力、运输距离、运输速度、舒适度等因素建立合理的比价关系,使有长距离快速出行需求的居民选择城市轨道交通、短距离出行需求的居民选择公共汽电车。若两者间价格接近,则会出现某种公共交通资源的过度占用或浪费。选择与青岛市公共汽电车和城市轨道交通建设规模相近的4个城市进行对比分析(见表5),得到4个城市公共汽电车平均人次票价为1.32元,城市轨道交通平均人次票价为2.23元,公共汽电车与城市轨道交通比价为0.59。而青岛市公共汽电车与城市轨道交通比价为0.28,以4个城市平均值为基准,则青岛市公共汽电车平均人次票价应该调整为1.24元。

### 3.5 平均人次票价初步方案

根据实地调研获得的《青岛市公交集团

2017年度公共汽电车运营财政补贴审计报告》《交运集团温馨巴士2017年度公共汽电车运营财政补贴审计报告》,经核定2017年公共汽电车运营成本28.3亿元,公共汽电车客运量8.49亿人次,公共汽电车政策性亏损补贴22.16亿元,城市轨道交通平均人次票价2.1元。根据《2017年青岛市国民经济和社会发展统计公报》数据,2017年青岛市一般公共预算收入1157亿元,居民可支配收入47176元。基于以上数据,得到青岛市不同平均人次票价取值下4项定价因素值(见表6)。

通过与同类型城市进行对比,同时尽可能使以上4个定价因素均处于青岛市合理目

表2 青岛市与同类型城市公共汽电车人次票价成本比对比

Tab.2 Comparison of passenger fare-cost ration of bus transit in Qingdao and similar cities

城市(年份)	平均人次票价/元	平均人次成本/元	人次票价成本比/%
合肥(2018)	1.02	3.31	30.8
厦门(2018)	0.87	2.19	39.7
武汉(2017)	1.15	2.99	38.5
济南(2018)	1.17	2.83	41.3
兰州(2018)	0.78	1.57	49.7
上海(2015)	1.28	3.35	38.2
广州(2017)	1.33	2.99	44.5
平均值	1.09	2.75	39.6
青岛(2017)	0.58	3.38	17.2

资料来源:各城市公共汽电车平均人次票价与平均人次成本来自交科院技术咨询(北京)有限公司2019年开展的城市公共交通政府购买服务情况调研。

表3 青岛市与同类型城市运营补贴与财政收入对比

Tab.3 Comparison of operating subsidies and fiscal revenue between Qingdao and similar cities

城市(年份)	政策性亏损补贴/亿元	一般公共预算收入/亿元	运营补贴占财政收入比例/%
郑州(2018)	18.30	1056.7	1.73
厦门(2018)	5.36	754.5	0.71
武汉(2017)	18.90	1402.9	1.35
深圳(2018)	54.87	3332.1	1.65
上海(2015)	49.70	3157.0	1.57
广州(2017)	40.12	1533.1	2.62
平均值	31.20	1872.7	1.67
青岛(2017)	22.16	1157.1	1.92

资料来源:各城市政策性亏损补贴额来自交科院技术咨询(北京)有限公司2019年开展的城市公共交通政府购买服务情况调研;一般公共预算收入来自各城市2017年公布的国民经济和社会发展统计公报。

标范围, 则青岛市公共汽电车平均人次票价应为 1.2~1.5 元, 取中间值 1.35 元作为平均

表4 青岛市与同类型城市公共汽电车出行支出占居民收入比例对比

Tab.4 Comparison of expenditure on bus transit fares and residents' income between Qingdao and similar cities

城市(年份)	公共汽电车出行 年均支出/元	城镇居民可支配 收入/元	公共汽电车出行支出占 居民收入比例/%
合肥(2018)	745	37 972	1.96
厦门(2018)	635	46 630	1.36
武汉(2017)	840	43 405	1.94
济南(2018)	854	46 642	1.57
上海(2015)	934	62 596	1.49
广州(2017)	971	55 400	1.75
平均值	830	48 774	1.70
青岛(2017)	423	47 176	0.90

资料来源: 城镇居民可支配收入来自各市 2017 年公布的国民经济和社会发展统计公报。

表5 青岛市与同类城市公共汽电车与城市轨道交通比价关系对比

Tab.5 Comparison of pricing relationships between bus transit and urban rail transit between Qingdao and similar cities

城市(年份)	公共汽电车平均 人次票价/元	城市轨道交通平均 人次票价/元	公共汽电车与城市 轨道交通比价
深圳(2018)	1.78	2.12	0.84
广州(2017)	1.33	1.65	0.81
杭州(2018)	1.18	2.66	0.44
西安(2018)	0.97	2.48	0.39
平均值	1.32	2.23	0.59
青岛(2017)	0.58	2.10	0.28

资料来源: 各城市公共汽电车和轨道交通平均人次票价来自交科院技术咨询(北京)有限公司 2019 年开展的城市公共交通政府购买服务情况调研。

表6 青岛市不同平均人次票价取值下定价因素值

Tab.6 Pricing factor values under different average passenger fares in Qingdao

平均人次票价/ 元	人次票价 成本比 <sup>1)</sup> /%	运营补贴 <sup>2)</sup> 占 财政收入 比例/%	公共汽电车出 行支出 <sup>3)</sup> 占居 民收入比例/%	公共汽电车与城 市轨道交通比价
0.67	20.1	1.95	1.04	1:3.13
1.10	33.0	1.64	1.70	1:1.91
1.24	36.4	1.54	1.92	1:1.69
1.34	40.2	1.46	2.07	1:1.57
目标范围 <sup>4)</sup>	35.0~45.0	1.30~1.80	1.80~2.40	1:1.5~1:3.0

1)公共汽电车票款收入由固定客运量(8.49亿人次)与不同平均人次票价相乘计算得到, 运营成本为 2017 年公共汽电车运营成本 28.3 亿元; 2)运营补贴为票款收入与运营成本间的差额; 3)公共汽电车出行支出=平均人次票价×公共汽电车人均日出行次数(2次)×365; 4)各项指标的目标范围依据同类型城市经验确定。

人次票价初步方案。

## 4 公共汽电车服务水平综合评价

### 4.1 指标选取

依据《城市公共交通发展水平评价指标体系》(GB/T 35654—2017)<sup>[12]</sup>和交通运输部《公交都市考核评价指标体系》<sup>[13]</sup>, 构建城市公共汽电车服务水平评价指标体系, 由准则层 4 个指标(可靠性、供给性、舒适性、吸引力)、指标层 14 项指标构成(见图 2)。

选取广州、深圳、武汉、重庆、南京、苏州、青岛、郑州和大连 9 个中心城市的公共汽电车服务水平指标进行评价, 详见表 7。

### 4.2 指标标准化

城市公共汽电车服务水平评价是针对基础设施建设、运营服务水平、车辆供给量、乘客体验和满意度等方面的综合评价, 涉及各指标的实际值和评价值两个变量。需要对指标进行无量纲化处理, 将样本  $i$  第  $j$  个指标值  $x_{ij}$  转换为无单位的相对数  $x'_{ij}$ ,  $x'_{ij}$  取值为 0~1。本文采取直线型无量纲化处理, 对正向指标(数值越大越好)使用以下公式计算:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}, \quad (1)$$

式中:  $x_j$  为评价指标值。对逆向指标(数值越小越好)使用以下公式计算:

$$x'_{ij} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)}. \quad (2)$$

标准化处理后的各项指标见表 8。

### 4.3 指标权重确定

采用主客观赋权法确定各项指标权重。主观赋权法将评价指标体系权重分为两个层次: 准则层指标权重以供给性指标作为基础, 可靠性、舒适性作为乘客直观体验, 吸引力作为反映; 指标层 14 项指标以专家经验法确定权重。客观赋权法选用奖惩函数作为客观赋予模型权重的方法, 基于数值大小进行赋权, 充分尊重数据的客观实际。对数值较大的给予“惩罚”, 赋予较小的权重; 对数值较小的给予“奖励”, 赋予较大的权重。主客观赋权法可以避免单一权重赋予方法下存在指标值和权重均偏大的情况。具体

步骤如下：

1) 确定奖惩函数值。

$$d_i = \frac{1}{x_i}, \quad (3)$$

式中： $d_i$  为各项指标的奖惩函数值； $x_i$  为各项指标评估值。

2) 求和。

$$l = \sum d_i, \quad (4)$$

式中： $l$  为所有指标奖惩函数值之和。

3) 求主观权重。

由本行业 20 位专家采用层次分析法<sup>[14-15]</sup>对准则层和指标层数据之间的重要关联进行评价，两两要素的比较结果构成判别矩阵  $A$ ，通过乘积方式确定判别矩阵的最大特征根和对应的特征向量，进而确定各指标主观权重值  $\alpha_i$ 。

4) 求客观权重。

$$\beta_i = \frac{d_i}{l}, \quad (5)$$

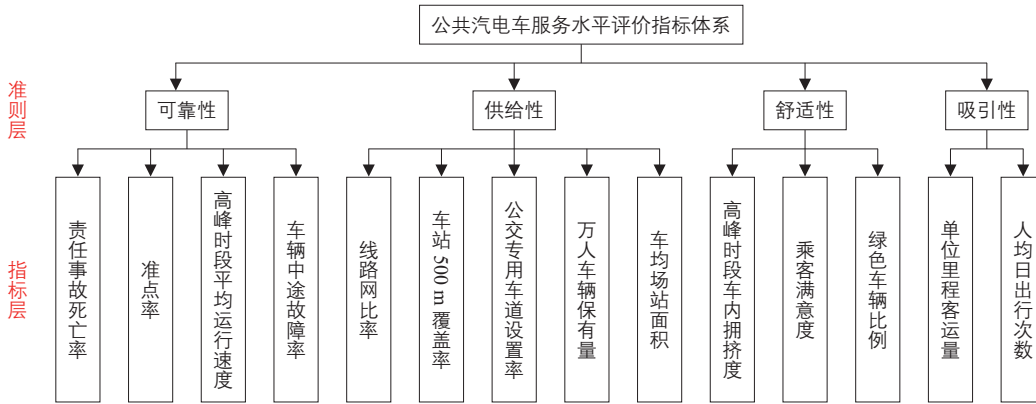


图2 城市公共汽车服务水平评价指标体系

Fig.2 Evaluation index system for urban bus transit level of service

表7 9个中心城市公共汽车服务水平评价指标

Tab.7 Evaluation indicators for bus transit level of service in nine central cities

准则层	指标层	城市								
		广州	深圳	武汉	重庆	南京	苏州	青岛	郑州	大连
可靠性	责任事故死亡率/(人·百万车公里 <sup>-1</sup> )	0.007	0.004	0.009	0.008	0.007	0.008	0.006	0.000	0.014
	准点率/%	90.0	81.2	97.7	80.0	95.5	98.7	85.3	86.7	89.5
	高峰时段平均运行速度/(km·h <sup>-1</sup> )	19.0	22.3	18.3	15.0	21.3	20.6	18.6	14.8	18.9
	车辆中途故障率/%	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
供给性	线路网比率 <sup>1)</sup> /%	93.0	100.0	76.6	66.8	60.3	40.9	80.7	76.6	52.5
	车站500m覆盖率/%	95.1	100.0	100.0	98.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7
	公交专用车道设置率/%	15.8	15.8	24.0	10.3	15.6	19.2	14.1	9.4	18.7
	万人车辆保有量/(标台·万人 <sup>-1</sup> )	36.1	37.2	25.0	32.2	18.1	30.0	31.8	21.5	28.5
舒适性	车均场站面积/(m <sup>2</sup> ·标台 <sup>-1</sup> )	112.7	117.0	104.0	98.0	154.0	221.0	128.0	231.0	121.0
	高峰时段车内拥挤度 <sup>2)</sup> /%	50.0	71.8	82.0	78.0	77.0	68.3	77.1	83.3	69.1
	乘客满意度/%	82.1	85.5	93.5	85.6	85.1	85.0	92.1	80.1	90.1
	绿色车辆比例/%	93.4	96.8	80.0	99.8	82.1	83.1	97.9	98.0	77.3
吸引力	单位里程客运量/(人次·km <sup>-1</sup> )	2.1	1.4	2.7	3.2	1.7	1.8	3.2	3.0	3.5
	人均日出行次数/(次·d <sup>-1</sup> )	0.82	0.79	0.73	0.66	0.65	0.55	0.65	0.54	0.89

1)线路网比率指中心城区范围内公共汽车线网长度和道路网长度的比值；2)高峰时段车内拥挤度指工作日早晚高峰时段内公共汽车客流最大断面的客流量和车辆额定载客量的比值。

资料来源：2017—2018年相关城市公布的公交都市指标数据。

式中： $\beta_i$ 为各项指标客观权重值。

5) 计算综合权重。

$$\omega_i = \lambda\alpha_i + (1-\lambda)\beta_i, \quad (6)$$

式中： $\omega_i$ 为各项指标的权重值， $0 \leq \omega_i \leq 1$ 且 $\sum \omega_i = 1$ ； $\lambda$ 为主观权重比例系数，一般取0.5。

按照上述方法确定各项指标权重(见表9)。

#### 4.4 综合量化评价

采用基于物元分析的综合性能评价模型对公共汽车服务水平进行分析评价，定性与定量相结合，每个指标表示一个公共汽车服务水平评价物元。假设影响城市公共汽车服务水平的因素有 $m$ 个指标，其特征指标集为 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ ；有 $n$ 个评价城市，构造城市集合 $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ 。首先将公共汽车服务水平各项指标设为 $a_i$ ，共同构成各评价城市 $m$ 维物元 $R$ ，计算公式为

$$R = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{bmatrix}. \quad (7)$$

将 $n$ 个城市 $m$ 维物元组合在一起，构成 $n$ 个城市 $m$ 维复合物元 $R_n$ ，计算公式为

$$R_n = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & \dots & a_{m,n} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

以越大越优为相对优化准则，在 $n$ 个城

市 $m$ 维复合物元中选取各特征指数的最大值，构建新的城市 $m$ 维物元，定义为最佳城市公共汽车服务水平物元 $R_0$ ，计算公式为

$$R_0 = \begin{bmatrix} a_{1,0} \\ a_{2,0} \\ \dots \\ a_{m,0} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

按照之前构建的城市物元，再构建关联系数 $L_{i,j}$ 的 $m$ 维复合物元 $R_{L_n}$ ，计算公式为

$$R_{L_n} = \begin{bmatrix} L_{1,1} & L_{1,2} & \dots & L_{1,n} \\ L_{2,1} & L_{2,2} & \dots & L_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{m,1} & L_{m,2} & \dots & L_{m,n} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

式中： $L_{i,j}$ 为第 $j$ 个城市与最佳公共汽车服务水平第 $i$ 项指标的关联系数( $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ )，由以下公式计算：

$$L_{i,j} = \frac{\Delta_{\min} + \rho\Delta_{\max}}{\Delta_{ij} + \rho\Delta_{\max}} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n), \quad (11)$$

式中： $\Delta_{\min}$ 为物元指标值绝对差 $\Delta_{ij}$ 的最小值； $\rho$ 为分辨系数，一般取0.5； $\Delta_{\max}$ 为物元指标值绝对差 $\Delta_{ij}$ 的最大值； $\Delta_{ij}$ 为最佳公共汽车服务水平第 $i$ 项指标与第 $j$ 个公共汽车服务水平相应指标特征量之间的绝对差。

基于可拓集合理论建立关联函数，按相对重要性对各项指标的关联系数进行加权平均，得到公共汽车服务水平的综合关联复合物元 $R'_{L_n}$ ，计算公式为

$$R'_{L_n} = \tau\omega \times R_{L_n} = [L_{01} \ L_{02} \ \dots \ L_{0j}], \quad (12)$$

表8 公共汽车服务水平评价指标标准化处理结果

Tab.8 Standardized processing results of evaluation indicators for bus transit level of service

城市	评价指标													
	责任事故死亡率/(人·百万车公里 <sup>-1</sup> )	准点率/%	高峰时段平均运行速度/(km·h <sup>-1</sup> )	车辆中途故障率/%	线路网比率/%	车站500 m覆盖率/%	公交专用车道设置率/%	万人车辆保有量/(标台·万人 <sup>-1</sup> )	车均场站面积/(m <sup>2</sup> ·标台 <sup>-1</sup> )	高峰时段车内拥挤度/%	乘客满意度/%	绿色车辆比例/%	单位里程客运量/(人次·km <sup>-1</sup> )	人均日出行次数/(次·d <sup>-1</sup> )
广州	0.50	0.52	0.53	0.50	0.81	0.33	0.47	1.00	0.96	1.00	1.00	0.13	0.43	0.69
深圳	0.61	0.35	1.00	1.00	1.00	1.00	0.47	1.00	1.69	0.94	0.96	0.38	0.33	0.62
武汉	0.96	0.91	0.55	1.00	0.57	1.00	1.00	0.41	2.23	0.35	0.36	0.09	0.53	0.67
重庆	0.97	0.33	0.39	1.00	0.48	0.33	0.37	0.50	2.39	0.38	0.35	1.00	0.75	0.59
南京	0.99	0.68	0.90	1.00	0.44	1.00	0.50	0.34	1.50	0.37	0.34	0.19	0.33	0.58
苏州	0.98	1.00	0.76	0.98	0.34	1.00	0.64	0.43	1.05	0.43	0.34	0.20	0.33	0.50
青岛	0.99	0.35	0.56	1.00	0.56	1.00	0.45	0.45	1.82	0.37	0.35	0.98	0.52	0.58
郑州	1.00	0.35	0.37	1.00	0.51	1.00	0.35	0.34	1.00	0.34	0.33	1.00	0.43	0.49
大连	1.00	0.36	0.41	1.00	0.34	1.00	0.38	0.34	1.00	0.34	0.33	0.34	1.00	1.00

表9 公共汽电车服务水平评价指标权重值

Tab.9 Evaluation indicators weights for bus transit level of service

城市	评价指标													
	责任事故死亡率/(人·百万车公里 <sup>-1</sup> )	准点率/%	高峰时段平均运行速度/(km·h <sup>-1</sup> )	车辆中途故障率/%	线路网比率/%	车站500 m覆盖率/%	公交专用车道设置率/%	万人车辆保有量/(标台·万人 <sup>-1</sup> )	车均场站面积/(m <sup>2</sup> ·标台 <sup>-1</sup> )	高峰时段车内拥挤度/%	乘客满意度/%	绿色车辆比例/%	单位里程客运量/(人次·km <sup>-1</sup> )	人均日出行次数/(次·d <sup>-1</sup> )
广州	0.05	0.03	0.03	0.32	0.04	0.03	0.04	0.04	0.08	0.04	0.08	0.04	0.0	0.08
深圳	0.05	0.13	0.03	0.25	0.04	0.04	0.05	0.01	0.05	0.05	0.06	0.04	0.00	0.08
武汉	0.05	0.02	0.03	0.18	0.04	0.03	0.03	0.01	0.09	0.15	0.04	0.07	0.01	0.08
重庆	0.05	0.02	0.15	0.22	0.04	0.04	0.10	0.01	0.00	0.06	0.05	0.03	0.00	0.08
南京	0.05	0.03	0.03	0.30	0.05	0.04	0.04	0.00	0.01	0.06	0.06	0.06	0.04	0.08
苏州	0.05	0.02	0.02	0.40	0.03	0.03	0.04	0.01	0.00	0.04	0.05	0.04	0.02	0.08
青岛	0.05	0.04	0.03	0.31	0.04	0.04	0.05	0.01	0.03	0.06	0.05	0.04	0.01	0.08
郑州	0.04	0.03	0.02	0.43	0.04	0.03	0.03	0.02	0.00	0.03	0.04	0.03	0.01	0.08
大连	0.04	0.03	0.03	0.39	0.05	0.03	0.04	0.01	0.02	0.04	0.05	0.03	0.00	0.08

式中： $w$  为指标的权重向量，由4.3节确定； $L_{0j}(j=1, 2, \dots, n)$  为综合关联度，用于综合度量公共汽电车服务水平与最佳公共汽电车服务水平关联性大小。其中：

$$L_{0j} = \sum_{i=1}^n \sum_{\tau=1}^m w_i L_{i,j} \quad (13)$$

根据  $R'_{L_{0j}}$  中综合关联度进行公共汽电车服务水平排序，综合关联度越大，城市公共汽电车服务水平越高。

基于以上方法对各城市公共汽电车服务水平进行综合评价，结果见表10。青岛市公共汽电车服务水平综合评价结果为0.649，位于9个同类型中心城市的第5位。

#### 4.5 基于服务水平调校确定平均人次票价

首先，确定平均人次票价。根据公共汽电车服务水平综合评价结果，青岛市公共汽电车服务水平高于同类型城市平均值4%。以4%作为调整系数对平均人次票价初步方案1.35元进行调整，则最终平均人次票价可定为1.40元，此时人次票价成本比为42.0%，运营补贴占财政收入比例为1.4%，公共汽电车出行支出占居民收入比例为2.2%，公共汽电车与城市轨道交通间比价关系为1:1.5，4个定价因素均处于青岛市合理目标范围。

其次，确定不同票制下的普通票价和优惠政策，即一票制票价及优惠政策或里程计价制票价及优惠政策。1)一票制，票款收入为普通票价、各类型乘客群体优惠政策以及

表10 9个中心城市公共汽电车服务水平综合评价结果

Tab.10 Comprehensive evaluation results of bus transit level of service in nine central cities

城市	评价结果	发展水平排名
武汉	0.708	1
深圳	0.693	2
大连	0.664	3
郑州	0.660	4
青岛	0.649	5
苏州	0.647	6
南京	0.603	7
重庆	0.530	8
广州	0.451	9
平均值	0.623	

客运量的综合反映，只需要确定普通票价并调整原有票价优惠政策，使得综合计算后的平均人次票价达到目标水平。2)里程计价制，票款收入为普通票价、各类型乘客群体优惠政策以及不同出行距离分布下的公共汽电车客运量的综合反映，需要在确定起步价、进价规则的基础上再调整优惠政策，使得经乘客出行里程和优惠政策加权计算后的平均人次票价达到目标水平。

#### 5 结束语

本文提出基于定价因素和服务水平的公

公共汽车票价制定方法,其重点是平衡政府和乘客负担公共汽车运营成本的比重,同时考虑公共交通这种服务产品自身的市场价值,保证各方皆实现可持续发展。研究结果不仅统筹了公共汽车票价定价因素和测算方法,还引入对公共汽车服务水平的考虑,使得价格正向反映了运营成本和服务水平变动情况。在这样的票价制定策略下,政府依然是公共汽车运营成本的主要承担者,不仅保证了公共汽车作为基础公共服务的公益性定位,也适当提高了乘客负担比例,同时以价格为杠杆提升了公共交通内部资源配置能力,为城市公共交通价格政策调整提供了与城镇化进程和公共交通发展阶段特点相适应的解决思路。

本文论述的公共汽车票价制定方法是基于政府、居民、企业三方负担的平衡,与各地实际定价过程大多考虑的是政府对民生福利的保障略有差异。此外,本次对公共汽车服务水平的评价未引入城市经济水平、城市政府对公共汽车供给服务水平的定位高低等因素造成的影响。因此,下阶段的研究还需要充分考虑各类客观影响因素,制定更科学合理的公共汽车服务水平评价体系,进一步完善公共交通定价机制。

参考文献:

References:

- [1] 丁涛. 后疫情时代公交如何解困突围(二)[J]. 人民公交, 2022(12): 54-58.
- [2] 陈霞, 于洪涛, 王晨, 等. 济南市公交行业改革的问题及对策研究[J]. 中国标准化, 2018(16): 220-221.
- [3] WALTERS A A. The theory and measurement of private and social costs of highway congestion[J]. *Econometrica*, 1961, 29(4): 676-699.
- [4] Turvey R. Marginal cost pricing in practice[J]. *Economica*, 1964, 31(124): 426-432.
- [5] 梁科科, 王海洋, 袁瑜, 等. 考虑乘客异质的公交票价优化研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2018, 42(5): 896-900.  
LIANG K K, WANG H Y, YUAN Y, et al. Study on bus fare optimization considering passenger heterogeneity[J]. *Journal of Wuhan University of Technology (transportation science & engineering)*, 2018, 42(5): 896-900.
- [6] 张智勇, 刘云霞. 基于系统动力学的城市公交票价模型研究[J]. 城市公共交通, 2017(6): 23-30.  
ZHANG Z Y, LIU Y X. Study on urban bus transit pricing model based on system dynamics[J]. *Urban public transport*, 2017(6): 23-30.
- [7] 文子慧. 城市公共交通定价模型及方案评价研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020.  
WEN Z H. Research on urban public transportation pricing model and scheme evaluation [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2020.
- [8] 刘敏, 赵磊, 刘祥锋, 等. 中小城市公交票价体系改革策略[J]. 交通与运输, 2020, 36(1): 79-83.  
LIU M, ZHAO L, LIU X F, et al. Reform strategy of bus ticket system in small and medium-sized cities[J]. *Traffic & transportation*, 2020, 36(1): 79-83.
- [9] 容军. 北京市公共交通票制票价改革的交通影响评估[J]. 城市公共交通, 2017(10): 35-37.  
RONG J. Traffic impact assessment on public transit ticket price innovation in Beijing[J]. *Urban public transport*, 2017(10): 35-37.
- [10] 程苑, 容军, 温慧敏, 等. 北京市公共交通票制票价评估方法研究[J]. 交通工程, 2017, 17(4): 26-32.  
CHENG Y, RONG J, WEN H M, et al. Research on evaluation of Beijing public transit fare[J]. *Journal of transportation engineering*, 2017, 17(4): 26-32.
- [11] 翁剑成, 涂强, 林鹏飞, 等. 票价调整对公交出行者出行选择的影响分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2017, 41(3): 419-424.  
WENG J C, TU Q, LIN P F, et al. Impact analysis of public transport price adjustment on travel choice for travelers[J]. *Journal of Wuhan University of Technology (transportation science & engineering)*, 2017, 41(3): 419-424.
- [12] 中华人民共和国交通运输部. 城市公共交通发展水平评价指标体系: GB/T 35654—2017[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2017: 3-8.  
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Evaluation index system for city public transportation development performance: GB/T 35654—2017[S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the Peo-

ple's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China, 2017: 3-8.

- [13] 中华人民共和国交通运输部. 交通运输部关于印发《公交都市考核评价指标体系》的通知(交运发〔2013〕387号)[A/OL]. (2013-07-29)[2023-06-12]. [https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/ysfws/202006/t20200623\\_3314986.html](https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/ysfws/202006/t20200623_3314986.html).
- [14] 刘洋, 路熙, 赵岫. 城市交通拥堵治理措施适应性研究[J]. 交通运输研究, 2021, 7

(5): 54-61.

- LIU Y, LU X, ZHAO S. Adaptability of urban traffic congestion control measures[J]. Transport research, 2021, 7(5): 54-61.
- [15] 潘硕, 王伟, 吴忠广, 等. 基于改进云模型的交通运输标准国际化水平评估[J]. 交通运输研究, 2022, 8(2): 30-38.
- PAN S, WANG W, WU Z G, et al. Evaluation of transportation standards internationalization level based on improved cloud model [J]. Transport research, 2022, 8(2): 30-38.

(上接第36页)

- [6] 曾滢. 城市路网窄密程度评估方法研究: 以广州为例[J]. 城市建筑, 2020, 17(19): 53-58.
- Zeng Y. Research on evaluation method for the degree of narrowness and density of urban road network: a case of Guangzhou[J]. Urbanism and architecture, 2020, 17(19): 53-58.
- [7] 周涛, 但媛, 朱军功. 城市道路网连通性评价指标探析[J]. 城市交通, 2015, 13(1): 60-65.
- ZHOU T, DAN Y, ZHU J G. Assessment of urban roadway network connectivity[J]. Urban transport of China, 2015, 13(1): 60-65.
- [8] 公安部道路交通安全研究中心, 北京世纪高通科技有限公司, 中国城市规划设计研究院. 中国重点城市道路网结构画像报告[EB/OL]. (2020-12-08)[2023-07-20]. [https://mp.weixin.qq.com/s?\\_\\_biz=MzA5OTAwOD-MzNQ==&mid=2650638171&idx=1&sn=131c1c89e1bc02b6e4165f516541a04b&chksm=8881cd7bbff6446df72972158abc8103d335f5af29682edc3212ef769291564a88cf75fa778f&scene=27](https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzA5OTAwOD-MzNQ==&mid=2650638171&idx=1&sn=131c1c89e1bc02b6e4165f516541a04b&chksm=8881cd7bbff6446df72972158abc8103d335f5af29682edc3212ef769291564a88cf75fa778f&scene=27).
- [9] 苏镜荣, 唐翀, 程德勇, 等. “窄马路、密路网”规划设计要点及昆明市实践[J]. 城市交通, 2017, 15(6): 20-27.
- SU J R, TANG C, CHENG D Y. Principles of planning and designing “narrow roadways, high density network”: a case study of Kunming[J]. Urban transport of China, 2017, 15(6): 20-27.
- [10] 张琳, 农红萍, 熊妮君. 街区制推行下控规路网规划思路探究: 以《南宁市中心城区友爱片区 YA-04 单元控制性详细规划》

- 编制为例[J]. 规划师, 2016, 32(s1): 38-41.
- ZHANG L, NONG H P, XIONG N J. Road network planning in regulatory plan with open block system: a Nanning case[J]. Planners, 2016, 32(s1): 38-41.
- [11] 方彬, 葛幼松. 街区制发展历程中的街区形态演变与街区适宜尺度探讨[J]. 城市发展研究, 2019, 26(11): 34-40.
- FANG B, GE Y S. The evolution of block patterns and the discussion on the appropriate scale of block in the development course of block system[J]. Urban development studies, 2019, 26(11): 34-40.
- [12] 沈莉芳, 陈诚. “小街区规制”: “街区制”的成都实践[J]. 规划师, 2017, 33(7): 26-30.
- SHEN L F, CHEN C. “small block system”: open block practice in Chengdu[J]. Planners, 2017, 33(7): 26-30.
- [13] 周南金, 吴有奇, 卿焱景. 街区制之“窄路密网”计算方法研究[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会. 交叉创新与转型重构: 2017年中国城市交通规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017: 77.
- [14] 王道训, 肖沅. 深圳市配建公共汽车首末站设施建设标准研究[J]. 综合运输, 2023, 45(4): 45-50.
- WANG D X, XIAO Y. Study on the construction standard of public transport facilities in Shenzhen[J]. China transportation review, 2023, 45(4): 45-50.