

基于乘客群体差异的公共汽车满意度提升策略

翁剑成¹, 潘晓芳¹, 邸小建², 林鹏飞³

(1.北京工业大学交通工程北京市重点实验室,北京 100124; 2.交通运输部规划研究院,北京 100028; 3.北京工业大学信息学部,北京 100124)

摘要:公共汽车满意度反映了乘客对公共汽车服务质量的直接感受,现有研究缺乏对不同乘客群体满意度差异以及公共汽车运行质量与满意度之间关系的研究。首先构建公共汽车满意度评价指标体系,包含时效性、安全性、便捷性、舒适性、可靠性、经济性6个一级指标,21个二级指标和77个三级指标。通过问卷调查得到北京市100条公共汽车线路共3 012份满意度调查数据,利用高斯混合模型聚类方法识别出4类乘客群体,应用随机森林特征选择方法鉴别不同群体满意度的核心偏好因素。将满意度调查数据与公共汽车平均运行速度、满载率、到站时间波动性等数据进行关联匹配,构建针对工作日高峰时段的公共汽车满意度与运行质量交互影响模型,定量评估公共汽车运行状态变化对满意度的影响。通过实例验证了影响模型的准确性,继而提出基于不同乘客群体的公共汽车满意度提升策略。

关键词:公共交通;公共汽车;满意度;群体差异;评价指标;服务质量;运行质量

Strategies for Improving Bus Transit Satisfaction Based on Differences in Passenger Groups

WENG Jiancheng¹, PAN Xiaofang¹, DI Xiaojian², LIN Pengfei³

(1. Beijing Key Lab of Traffic Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. Transport Planning and Research Institute Ministry of Transport, Beijing 100028, China; 3. Faculty of Information Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Bus transit satisfaction reflects the quality of bus services perceived by passengers. However, current studies are limited on the difference of satisfaction among various passenger groups and the relationship between bus operational quality and satisfaction. This paper starts with the development of an assessment indicator system for bus transit satisfaction that identifies six first-level indicators, including timeliness, safety, convenience, comfort, reliability, and economic efficiency, as well as 21 second-level and 77 third-level indicators. Data from 3,012 satisfaction surveys covering 100 bus lines in Beijing are obtained via questionnaires. Four types of passenger groups are selected using a clustering method of Gaussian Mixture Model. Furthermore, the core preference factors for satisfaction among different passenger groups are identified using the Random Forest feature selection method. By correlating the satisfaction survey data with bus transit data, such as average bus operation speed, load factor, and arrival time fluctuation, the paper develops an interactive impact model between bus transit satisfaction and operational quality during peak hours on workdays. Meanwhile, the paper quantitatively assesses the impact of bus operation status changes on the satisfaction of different passenger groups. Finally, after verifying the accuracy of the interactive impact model with examples, the paper proposes strategies for improving the bus transit satisfaction of different passenger groups.

Keywords: public transit; bus transit; satisfaction; group difference; assessment indicators; service quality; operational quality

收稿日期:2021-10-20

基金项目:国家自然科学基金项目“基于群体行为辨识的区域公共交通出行需求影响机理研究”(52072011)、国家自然科学基金项目重大项目“城市交通出行规律挖掘与演化分析”(U1811463)

作者简介:翁剑成(1981—),男,浙江金华人,博士,教授,主要研究方向:智能交通与信息。

E-mail: youthweng@bjut.edu.cn

通信作者:林鹏飞(1993—),男,内蒙古赤峰人,博士,讲师,主要研究方向:智能交通。

E-mail: pengfei_lin@foxmail.com

0 引言

乘客感知价值对出行方式选择有着显著影响,而服务质量对感知价值的影响更为明显^[1]。公共汽车满意度反映了乘客对公共汽车服务质量的直接感受,而运行质量作为公共汽车实际运行状态的刻画是影响乘客满意度的根本因素,所以提高乘客满意度对相关决策部门提升公共汽车运行质量和服务质量具有现实意义。由于公共汽车乘客个体特征的差异,乘客对运行质量的感受、服务质量的评价存在异质性^[2]。因此,探究影响公共汽车服务质量的关键因素、揭示公共汽车运行质量与服务质量之间的影响关系具有重要意义。

国内外学者从公共汽车满意度评价和公共汽车运行质量评价单一方面分别进行研究。公共汽车满意度评价方法方面,通常基于安全、方便、快速、舒适、经济等方面的出行需求建立满意度评价指标体系^[3-6],在此基础上通过问卷调查来分析乘客满意度与公共汽车服务质量等因素之间的关系^[7-10]。公共汽车运行质量评价方面,先进的交通数据处理方法为监控公共汽车运营、探索公共汽车出行规律奠定了坚实基础^[11-12],使海量交通数据能够用于公共汽车运行质量评价^[13-15]。以上研究主要存在两方面不足:一方面,缺乏不同乘客群体对公共汽车满意度评分差异性的考虑;另一方面,缺乏对公共汽车运行质量与乘客主观满意度的交互影响关系研究。

因此,本文面向城市公共汽车交通系统构建公共汽车满意度评价指标体系,基于乘客满意度问卷调查数据,利用高斯混合模型、随机森林特征选择方法鉴别影响不同公共汽车乘客群体总体满意度评价的核心偏好因素。在此基础上,结合公共汽车运行质量评价数据,构建公共汽车满意度与运行质量交互影响模型,并以此为依据针对性地提出面向不同乘客群体的公共汽车服务质量提升策略。

1 公共汽车满意度评价指标体系

为得到乘客对城市公共汽车交通系统服务质量的主观评价,以北京市为例构建公共汽车满意度评价指标体系。北京市公共汽车交通系统具有运营线路类型多、线路总体偏长等特点。本文从乘客感知角度选取基础指

标在与交通行业专家、公共汽车运营管理人员以及乘客进行座谈调研的基础上,构建了公共汽车满意度评价指标体系,包含6个一级指标,21个二级指标和77个三级指标^[16]。其中一级指标包含时效性、安全性、便捷性、舒适性、可靠性、经济性6个维度,二级指标反映乘客满意度评价的核心内容(见表1);三级指标主要针对乘客不满意的细节进行补充(见增强出版网络文件附表1^①)。

2 调查数据

通过对公共汽车满意度进行问卷调查、对公共汽车运行质量数据进行收集和处理,将满意度调查数据以及公共汽车运行质量多源数据进行关联匹配,为构建两者之间的交互影响模型奠定数据基础。

2.1 公共汽车满意度调查数据

为保证分层抽样调查的数据能够真实反映城市公共汽车服务水平,根据公共汽车出行分担率及北京市人口空间分布特征确定公共汽车满意度问卷调查方案,最终得到100条公共汽车线路共3 012份有效调查问卷。其中,常规公共汽车(快线、普线、支线、微循环)、BRT和定制公交的问卷样本量比

表1 公共汽车满意度评价指标体系(一级、二级指标)

Tab.1 Assessment indicator system for bus transit satisfaction (first-level and second-level indicators)

一级指标	二级指标	一级指标	二级指标
时效性	到达公共汽车站耗时	舒适性	站台环境
	站台等待耗时		车辆硬件条件
	乘车耗时		车内拥挤程度
	换乘耗时		服务品质
安全性	候车安全性	可靠性	行程时间可靠性
	上下车安全性		运营调度可靠性
	行车安全性		司乘人员服务可靠性
	应急管理		服务信息可靠性
便捷性	设施便捷性	经济性	票制票价合理性
	乘车便捷性		个性化服务价格合理性
	信息服务便捷性		

资料来源:文献[16]。

表2 北京市109路某辆公共汽车运行数据

Tab.2 Operation data of Bus Line 109 in Beijing

开始时刻	结束时刻	开始站	结束站	车站间距/ m	运行时间/ s	平均运行 速度/ (km·h ⁻¹)
7:41:02	7:43:32	朝阳门内	朝内小街	692	150	16.61
7:43:32	7:44:52	朝内小街	东四路东	502	80	22.59
7:45:02	7:46:35	东四路东	美术馆东	516	93	19.97

例分别为 51:37:4:4:2:2; 男女比例为 1.04:1, 老年(≥55)、中年(35~54)、青年人群(18~34) 分别占 13.2%, 69.7%和 17.1%。因此, 调查问卷样本基本涵盖了北京市各类型公共汽车线路以及公共汽车乘客。调查问卷内容包括受访者的个人属性和社会经济情况、调查地点的信息记录以及对评价指标体系中二级指标的满意度进行打分。满意度由非常不满意(1分)到非常满意(10分)构成, 对6分及以下的二级指标将继续询问其三级指标的满意度。其中, 9分及以上代表非常满意; 8~<9分代表比较满意; 7~<8分代表基本满意; 6~<7分代表较不满意; 6分及以下代表非常不满意。将该调查结果作为公共汽车满意度的主观评价数据, 进一步利用基于相关系数加权的满意度评价模型进行计算, 得到3 012个样本的公共汽车满意度评价得分^[17]。

2.2 公共汽车运行质量多源数据

首先选取与问卷调查时段相匹配的公共汽车运行质量多源数据, 包括线路静态信息数据、IC卡刷卡数据和公共汽车GPS定位数据; 然后, 从评价体系中的时效性、便捷性、舒适性和可靠性四个角度(目前数据无法支持安全性和经济性角度评价)进一步筛选数据, 并经数据预处理和匹配技术^[18]融合、加工, 得到公共汽车运行质量评价指标数据, 包括平均运行速度、满载率、平均换乘时间和到站时间波动性。部分指标原始数据见表2, 该数据可用于计算公共汽车平均运行速度(其他公共汽车运行质量评价指标数据的计算方法详见文中对应位置), 计算公式如下:

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=2}^n S_i}{\sum_{i=2}^n t_i - T_{i-1}}$$

式中: \bar{V} 为某时段内单辆公共汽车的平均运行速度($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$); n 为线路车站总数/个; S_i 为第 $i-1$ 站到第 i 站的距离/km; t_i 为第 i

站的到站时刻; T_{i-1} 为第 $i-1$ 站离站时刻。

3 基于乘客群体聚类的核心偏好因素

3.1 基于个体特征的乘客群体聚类

聚类分析是依据研究对象属性按照一定分类定义对其进行归类研究。为避免强制性聚类数据出现的无法体现类边界部分数据特点的问题, 本文选用软聚类方法中的高斯混合模型^[19-20], 将乘客分为 K 类, 每一类乘客均由一个单高斯分布生成。假设每一个乘客分别由 k 个单高斯分布的混合模型表示, 其概率密度函数

$$P(x) = \sum_{k=1}^K \pi_k p(x|k) = \sum_{k=1}^K \pi_k \eta(x|\mu_k, \sum_k)$$

式中: k 为单高斯分布的混合模型的数量; K 为乘客类别数量; x 为维度为 d 的向量; π_k 为第 k 个单高斯分布被选中的概率; $\eta(x|\mu_k, \sum_k)$ 为第 k 个单高斯分布的概率密度函数; μ_k 和 \sum_k 为第 k 个单高斯分布的均值和方差。

基于调查问卷数据, 选取性别、年龄、月收入、家庭是否拥有私人小汽车、出行目的等5个乘客个体特征因素作为聚类分析的初始变量, 输入模型并进行多次参数调整和试验, 最终将3 012个样本归于4类乘客群体。根据不同群体中个体特征类别分布情况对群体进行命名, 结果见表3。

对各项个体特征的平均数差异进行检验, 除性别外, 检验统计量所对应的 p 值均远小于5%, 表明4个类簇的均值显著相异。因此, 该方法可适用于公共汽车乘客群体的聚类辨识, 具有较好的分类结果。

3.2 不同乘客群体的核心偏好因素

由于月收入、年龄等个体属性差异, 不同乘客群体对公共汽车服务质量的满意度评价考量重点也有所差别。因此, 面向不同乘客群体, 针对二级指标, 利用随机森林特征

表3 乘客群体聚类结果及个体特征显著类别占比

Tab.3 Clustering analysis results of passenger groups and proportion of categories with significant individual characteristics

群体名称	性别	年龄	月收入/元	家庭是否拥有私人小汽车	出行目的
老年休闲群体	男/女	≥55(92.44%)	4 000~6 000(74.05%)	否(71.96%)	个人事务和休闲娱乐占 60.63%
青年娱乐群体	男/女	18~34(65.02%)	2 000~4 000(71.98%)	否(76.16%)	个人事务和休闲娱乐占 82.73%
青年通勤群体	男/女	18~34(68.28%)	4 000~6 000(74.05%)	否(94.34%)	回家和工作占 88.66%
中年商务群体	男/女	35~54(75.63%)	>6 000(86.02%)	是(98.92%)	回家和工作占 56.63%

选择方法^[21]对公共汽车满意度的影响重要性进行度量。将变量重要性评分用 VIM 表示, 将基尼系数(Gini系数)用 GI 表示, 假设有 m 个特征 X_1, X_2, \dots, X_m , 第 j 个特征在随机森林全部决策树中 Gini 系数的计算公式为

$$GI_m = \sum_{k=1}^K p_{mk}^2,$$

式中: k 为类别, 总数为 K ; p_{mk} 为节点 m 中类别 k 所占的比例。

特征 X_j 在节点 m 前后 Gini 系数的变化为 $VIM_{jm}^{(Gini)} = GI_m - GI_l - GI_r$, 式中: GI_l 和 GI_r 分别表示分枝后两个新节点的 Gini 系数。如果特征 X_j 在决策树 i 中出现的节点在集合 M 中, 那 X_j 在第 i 棵树的重要性为

$$VIM_{ij}^{(Gini)} = \sum_{m \in M} VIM_{jm}^{(Gini)}.$$

假设随机森林中共有 n 棵树, 则

$$VIM_j^{(Gini)} = \sum_{i=1}^n VIM_{ij}^{(Gini)}.$$

最后将全部重要性评分进行归一化处理:

$$VIM_j = \frac{VIM_j^{(Gini)}}{\sum_{i=1}^n VIM_i^{(Gini)}}.$$

分别面向4类乘客群体, 利用随机森林特征选择方法度量21个二级指标对公共汽车乘客满意度评价的影响重要性大小。重要性排名在前20%的评价指标即为核心偏好因素, 作为构建影响模型的重点对象(见图1)。可以看出: 1)老年休闲群体对便捷性和舒适性的服务质量感知对公共汽车满意度评价产生了较为重要的影响, 且特征重要度排名前四位的指标差异性较小, 其中乘车便捷性的特征重要度最高, 为0.069; 2)青年娱乐群体、青年通勤群体和中年商务群体中时效性对公共汽车满意度评价有显著影响, 这三类群体均将乘车耗时识别为特征重要度最高

的二级指标, 重要性评分分别为0.078, 0.087和0.081; 3)乘车耗时、车内拥挤程度、行程时间可靠性三项指标在各群体中多次出现且在特征重要度排名较高位置, 对公共汽车满意度评价有较大影响。

4 公共汽车满意度与运行质量交互影响模型

乘车耗时、车内拥挤程度、行程时间可靠性在各个乘客群体中多次被识别为核心偏好因素, 因此对其同类别的各个二级指标进行主成分分析, 用最大方差和旋转法得到反映各个一级指标的1个主成分因子(见表4)。乘车耗时、车内拥挤程度、行程时间可靠性在所对应的一级指标中因子载荷最高, 可作为表征所对应一级指标的主要因素。因此分别将其对应的一级指标公共汽车满意度评价数据与运行质量评价数据匹配, 从时效性、舒适性和可靠性角度针对所涉及的乘客群体分别构建影响模型。

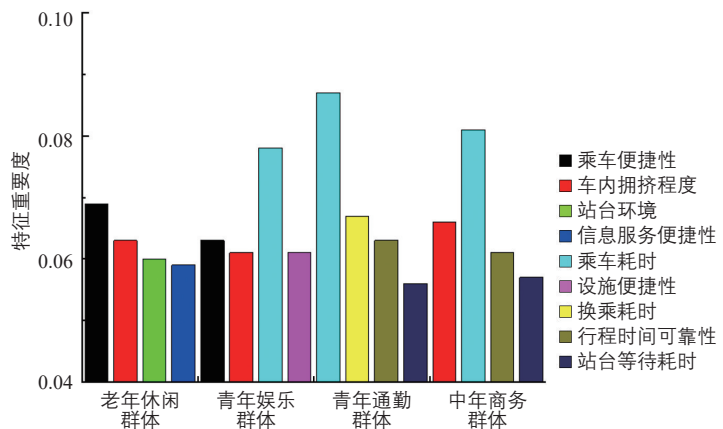


图1 不同乘客群体的核心偏好因素重要性度量
Fig.1 Essentiality measurement on core preference factors of different passenger groups

表4 不同一级指标下二级指标的主成分

Tab.4 Main components of second-level indicators under different first-level indicators

主成分	时效性	舒适性	可靠性
特征值	2.340	2.468	2.378
贡献率	58.650	61.680	59.450
累计贡献率	58.650	61.690	59.450
旋转后因子载荷(二级指标)			
到达公共汽车站耗时	0.799	站台环境 0.765	行程时间可靠性 0.835
站台等待耗时	0.757	车辆硬件条件 0.805	运营调度可靠性 0.830
乘车耗时	0.802	车内拥挤程度 0.814	司乘人员服务可靠性 0.699
换乘耗时	0.701	服务品质 0.756	服务信息可靠性 0.709

4.1 公共汽车时效性满意度影响模型

乘车耗时在青年娱乐群体、青年通勤群体和中年商务群体中均被识别为核心偏好因素，可通过改善公共汽车运行质量中的公共汽车运行速度来提高该指标的满意度。将研究时段分为工作日高峰时段、工作日平峰时段及非工作日。在构建影响模型之前，对不同时段公共汽车的运行和服务进行相关性分析，确定运行—服务有显著相关关系的敏感时段作为模型的重点研究对象。以青年娱乐群体公共汽车运行速度—乘车耗时满意度相关性为例，相关性分析结果见表5。

由相关性分析发现，工作日高峰时段公共汽车运行速度与三类群体的乘车耗时满意度均存在明显的相关关系，其余出行时段两者未通过显著性检验。因此，针对工作日高峰时段绘制三类乘客群体的乘车耗时满意度和平均运行速度散点分布图(见图2)。构建

三类乘客群体关于乘车耗时的公共汽车时效性满意度影响模型为：

$$y_{group2} = 3.637 \ln(\bar{V}) - 2.504 ,$$

$$y_{group3} = 2.782 \ln(\bar{V}) - 0.390 ,$$

$$y_{group4} = 2.415 \ln(\bar{V}) + 0.650 ,$$

式中： y_{group2} ， y_{group3} ， y_{group4} 分别为青年娱乐群体、青年通勤群体、中年商务群体乘车耗时满意度得分； \bar{V} 为工作日高峰时段公共汽车平均运行速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)。

公共汽车平均运行速度由 $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 提升至 $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 时：青年娱乐群体乘车耗时满意度得分将由 5.9 分提升至 7.3 分，增长幅度为 23.7%；青年通勤群体和中年商务群体乘车耗时满意度得分分别由 6.0 和 6.2 提升至 7.1 和 7.2，增长幅度分别为 18.3% 和 16.1%。因此，通过改善公共汽车平均运行速度，青年娱乐群体的乘车耗时满意度最容易被提高，可有效地满足该类群体对于时效性的心理需求。

表5 青年娱乐群体公共汽车运行速度—乘车耗时满意度相关性

Tab.5 Correlation between bus operation speed and satisfaction with riding time among young recreational groups

项目	Sig.	乘车耗时满意度		
		工作日高峰时段	工作日平峰时段	非工作日
工作日高峰时段	皮尔逊相关性	0.727 ¹⁾		
	显著性(双尾)	0.000		
	个案数	68		
公共汽车运行速度	皮尔逊相关性		0.145	
	显著性(双尾)		0.167	
	个案数		80	
非工作日	皮尔逊相关性			0.025
	显著性(双尾)			0.818
	个案数			83

1) 在 0.01 级别(双尾)相关性显著。

4.2 公共汽车舒适性满意度影响模型

车内拥挤程度在老年休闲群体、青年娱乐群体和中年商务群体中均被识别为核心偏好因素，可通过改善公共汽车运行质量中的满载率来提高该指标满意度。通过相关性分析发现，三类乘客群体在工作日高峰时段公共汽车满载率与车内拥挤程度满意度均存在明显的相关关系。针对工作日高峰时段绘制三类乘客群体所乘坐的公共汽车断面满载率与车内拥挤程度满意度散点分布图(见图3)，发现两者之间存在二次函数关系。

构建不同乘客群体关于车内拥挤程度的公共汽车舒适性满意度影响模型为：

$$n_{group1} = -6.556C^2 - 5.4941C + 11.390 ,$$

$$n_{group2} = -1.3810C^2 - 4.8530C + 10.141 ,$$

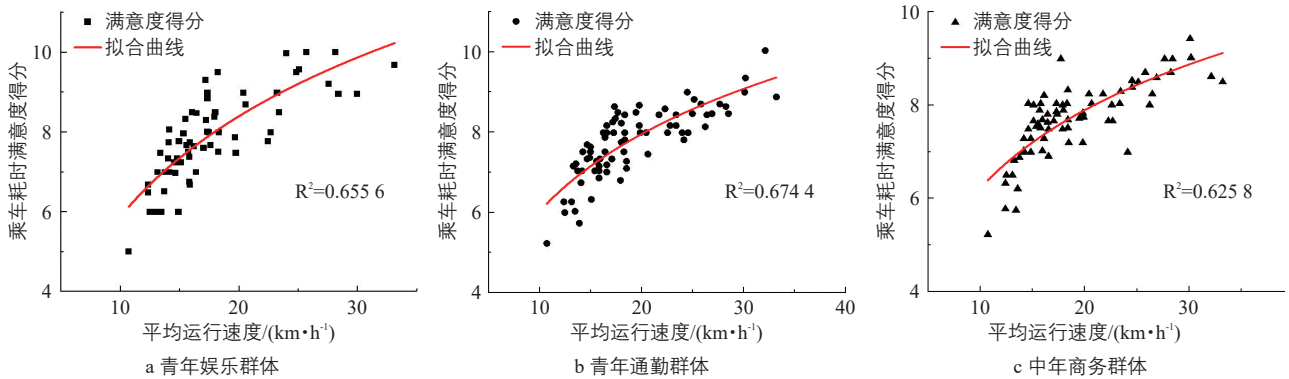


图2 三类乘客群体公共汽车运行速度—乘车耗时满意度散点图

Fig.2 Scatter plot of bus operation speed and satisfaction with riding time among three types of passenger groups

$$n_{group4} = -1.7310C^2 - 4.8020C + 9.5650,$$

式中： n_{group1} ， n_{group2} ， n_{group4} 分别为老年休闲群体、青年娱乐群体、中年商务群体车内拥挤程度满意度得分； C 为工作日高峰时段

公共汽车满载率/%，计算公式为 $\frac{\sum_{i=1}^n p_i}{ep_r}$ ，其中 p_i 为该线路第 i 个班次的实际载客量/人， e 为该线路运营班次数/次， p_r 为该线路额定载客量/人。

在三类乘客群体中，老年休闲群体车内拥挤程度的承受能力较差，如果公共汽车满载率能从60%降至50%，车内拥挤程度满意度得分预计由5.7分提升至7分，增长幅度达到22.8%。对于青年娱乐群体和中年商务群体而言，同样情况下，车内拥挤程度满意度得分增长幅度均为10%左右。由此可见，通过改善公共汽车满载率，老年休闲群体的车内拥挤程度满意度得分最容易被提高，可有效地满足该类群体对于舒适性的心理需求。

4.3 行程时间可靠性满意度影响模型

行程时间可靠性在青年通勤群体和中年

商务群体中被识别为核心偏好因素，可通过改善公共汽车运行质量中的到站时间波动性提高该指标满意度。到站时间波动性数值越小，证明到站时间稳定性越强，计算公式为

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n p_i (t_i - \mu)^2}}{(n-1) \sum_{i=1}^n p_i},$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^e (t_{ij} - t_{i(j-1)})}{ne},$$

式中： S 为公共汽车到站时间波动性； n 为线路的车站数/个； p_i 为线路第 i 个车站的平均上车人数/人； t_i 为线路第 i 个车站的到站间隔/min； μ 为线路的平均到站时间间隔/min； e 为线路运营班次数/次； t_{ij} 为线路第 i 个车站班次 j 的到站时刻； $t_{i(j-1)}$ 为班次 $j-1$ 的到站时刻。

针对工作日高峰时段绘制两类乘客群体所乘坐的公共汽车到站时间波动性与行程时间可靠性满意度散点分布图(见图4)，发现两者之间存在二次函数关系。

两类乘客群体关于行程时间可靠性的满

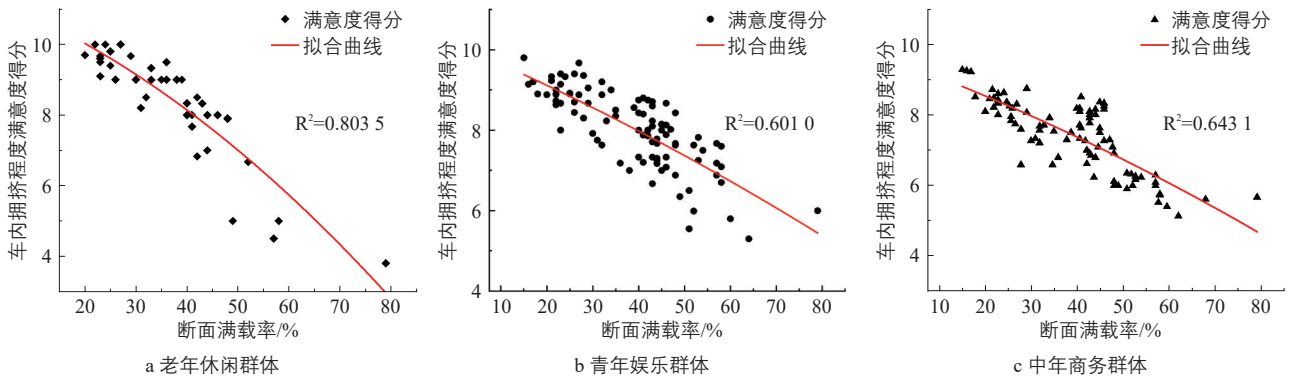


图3 三类乘客群体公共汽车满载率—车内拥挤程度满意度散点图

Fig.3 Scatter plot of bus load factor and satisfaction with bus crowdedness among three types of passenger groups

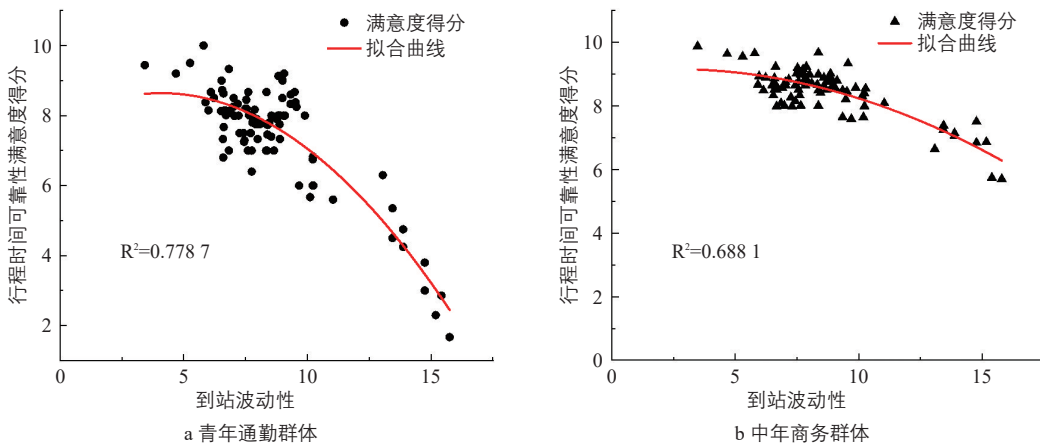


图4 两类乘客群体到站时间波动性—行程时间可靠性满意度散点图

Fig.4 Scatter plot of bus arrival time fluctuation and satisfaction with travel time reliability among two types of passenger groups

意度影响模型为：

$$q_{group3} = -0.0456S^2 + 0.3736S + 7.8753,$$

$$q_{group4} = -0.0161S^2 + 0.0788S + 9.0687,$$

式中： q_{group3} ， q_{group4} 分别为青年通勤群体、中年商务群体行程时间可靠性满意度得分； S 为工作日高峰时段公共汽车到站时间波动性。

在同等到站时间波动性的水平下，青年通勤群体的行程时间可靠性满意度得分始终低于中年商务群体。若到站时间波动性从15.0降低至10.0，青年通勤群体行程时间可靠性满意度得分将从3.2提升至7.1，提升幅度高达122%，中年商务群体的行程时间可靠性满意度得分将从6.6提升至8.2，提升幅度为24.2%。因此，通过改善公共汽车到站时间波动性，青年通勤群体的行程时间可靠性满意度得分将很大程度被提高，满足该类群体心理需求。

5 模型验证分析

5.1 实验设计

为验证影响模型的合理性，选取不同时段公共汽车运行状态和因素有明显变化的线路，采用同样的问卷调查方法进行验证调查。对比2016年9月和2018年10月北京市部分线路在公交专用车道开放前后各一周的运行质量数据，选取300快内、919快等4条运行特征变化明显的线路作为模型验证对象，运行数据见表6。其中836路由于部分车站撤销导致运行速度和客运量都有不同程度的下降，而652路公共汽车运行速度有所下降则是因为高峰时段客运量的大幅度提升。

5.2 数据采集

2018年11月12—18日对上述线路进行公共汽车满意度调查，共收集358份调查问卷。对调查数据进行乘客群体划分，其中青

年通勤群体占比最大，为36.85%；老年休闲群体占比最低，为13.68%；青年娱乐群体和中年商务群体人数较为接近，占比分别为25.61%和23.86%。

5.3 验证结果分析

选取2018年11月12日4条公共汽车线路多源数据计算运行质量评价指标数据，应用公共汽车时效性满意度影响模型计算不同乘客群体满意度，并与实际调查数据进行比较。模型拟合结果见表7。

选取相同调查时段的公共汽车运行质量评价数据验证另外两组影响模型，共32组验证数据，得到平均绝对误差为0.53。另外，公交专用车道的开通使得公共汽车平均运行速度提升、满载率下降以及到站时间波动性降低，各个乘客群体满意度的绝对误差呈现减小的趋势。因此，公共汽车满意度与运行质量交互影响模型能较为准确、合理地表征运行状态改变所带来的乘客满意度评价得分的变化程度。

6 公共汽车满意度提升策略

根据公共汽车满意度与运行质量交互影响模型以及不同群体的核心偏好因素，分别从时效性、舒适性、可靠性以及便捷性四个方面提出北京市工作日高峰时段公共汽车满意度提升策略。

1) 时效性相关指标是青年娱乐群体、青年通勤群体和中年商务群体满意度评价中的核心偏好因素，受众群体最广，占比约为97.4%。因此，通过提升时效性来改善城市公共汽车运行质量和服务质量，受益人群最为宽泛。在通勤、商务型群体集中的公共汽车线路上，应为公共汽车提供公交专用车道、公交优先车道等优先通行空间，提高高

表6 公交专用车道开通前后部分公共汽车线路运行数据对比

Tab.6 Comparison of operation data for selected bus lines before and after the opening of exclusive bus lanes

公共汽车 线路	高峰时段运行速度/ (km·h ⁻¹)		日均运行速度/ (km·h ⁻¹)		高峰时段客运量/ (人次·h ⁻¹)		日均客运量/ (人次·d ⁻¹)		公交专用车道 所在道路
	开通前	开通后	开通前	开通后	开通前	开通后	开通前	开通后	
300快内	27.36	33.75	31.58	34.18	7 885	9 410	21 156	24 294	三环主路
919快	31.95	34.89	44.46	48.26	2 641	2 238	9 512	8 169	京藏高速
652	23.04	21.26	25.10	22.35	229	604	501	900	京藏高速
836	29.77	27.80	34.75	33.17	2 976	1 325	9 180	3 865	京港澳高速

峰时段公共汽车运行速度，从而全面提升公共汽车出行时效性。此外，可以通过已有的公共交通多源数据甄别城市中高频出行发生点，针对青年通勤群体的通勤需求以及青年娱乐群体的个性化需求，个性化地实施定制公交，例如高峰时段在主要通勤客流走廊设置线上预约的快速巡游、动态发班通勤班车等，做到精准服务以提升公共汽车时效性。

2) 舒适性相关指标是老年休闲群体、青年娱乐群体和中年商务群体在满意度评价中的核心偏好因素，受众群体较大，占比约为60.8%。公共汽车舒适性的提升使老年休闲群体满意度提升程度最大，充分体现了城市公共交通服务的人文关怀。因此，公共汽车舒适性改善应以老年群体为重点，针对老年群体出行热点线路更换通道狭窄、座位数量少、无特殊群体座位的公共汽车，减少老年群体由于长时间站立而产生的疲劳感；此外，对座椅布局、数量以及结构进行改良，满足老年群体人机工程学和视觉与听觉信息传达的需求，确保老年人在车内拥有良好的乘车环境。对中青年乘客群体应通过增设高峰时段班车及调整发车班次、调节高峰时段客流、改善车内拥挤状况提升公共汽车舒适性。

3) 行程时间可靠性提升所带来的公共汽车满意度提升空间最大，特别对乘客人群最广的青年通勤群体而言，满意度得分提升幅度高达122%，将很大程度改善通勤出行体验。因此，在保证不同乘客群体能够及时获取行车时刻表等信息的前提下，在通勤人数较多的公共汽车线路上，有针对性地进行公共汽车到站时刻表编排、线路组织优化以及专用路权设计，保障在客流高饱和时段公共汽车到站时刻表的合理性和专用路权的连

续性，保证公共汽车的到站正点率以及在途时间稳定，以提高青年通勤群体和中年商务群体对行程时间可靠性的信任程度。此外，公共汽车公司应考虑将到站波动性作为保证公共汽车服务质量的重要因素之一，并将其纳入驾驶员考核指标中，保证公共汽车行程时间和到站时间的稳定性。

4) 乘车便捷性是老年休闲群体中具有最高特征重要度的指标，这是因为老年群体对于到达车站的便捷程度及出行换乘次数更加敏感。因此，针对老年休闲群体需要提升其最初1 km的出行品质。通过大数据识别老年人群时空分布情况，在其聚居地与附近公共汽车站之间建立无障碍步行道路系统，减少其行动时的心理和生理负担。而减少换乘次数需要对现有公共汽车线路的网络布局进行调整，这可能导致其他群体出行时间延长等问题，从而出现一系列矛盾点。因此，建议在老年群体出行线路上实现不同线路同站台换乘，缩短换乘步行距离，提升老年群体的乘车便捷性满意度且不损害其他乘客群体的出行感受。

7 结语

本文以探究公共汽车运行状态与不同乘客群体公共汽车满意度之间的变化规律为目标，以公共汽车满意度调查数据为基础，基于乘客个体特征将北京市抽样调查的3 012份样本划分为老年休闲群体、青年娱乐群体、青年通勤群体和中年商务群体。针对不同乘客群体利用随机森林特征选择方法鉴别影响公共汽车满意度评价的核心偏好因素：1)老年休闲群体中乘车便捷性的重要性评分最高，为0.069；2)青年娱乐群体、青年通勤

表7 公共汽车时效性满意度影响模型验证

Tab.7 Demonstration of timeliness satisfaction impact model

公共汽车线路	平均运行速度/ (km·h ⁻¹)		乘车耗时满意度								
	调查时段一	调查时段二	青年娱乐群体			青年通勤群体			中年商务群体		
			模型拟合	调查数据	绝对误差	模型拟合	调查数据	绝对误差	模型拟合	调查数据	绝对误差
300快内	28.41	32.52	10.00	9.12	0.88	9.32	9.00	0.32	9.06	8.67	0.39
919快	31.99	33.18	10.00	9.30	0.70	9.37	9.18	0.19	9.11	8.80	0.31
652	22.76	19.89	8.37	7.28	1.09	7.97	7.22	0.75	7.90	7.11	0.79
836	33.13	30.12	9.78	8.94	0.84	9.11	9.00	0.11	8.88	8.34	0.54

群体和中年商务群体中乘车耗时的重要性评分最高,分别为0.078, 0.087和0.081; 3)乘车耗时、车内拥挤程度、行程时间可靠性3个因素在各群体中多次出现且在重要性度量排名较高位置,对公共汽车满意度评价影响较大。结合公共汽车运行质量数据,针对核心偏好因素构建公共汽车满意度与运行质量交互影响模型,定量揭示公共汽车运行质量与公共汽车满意度之间的相互影响关系,并根据模型计算结果提出面向不同乘客群体的工作日高峰时段公共汽车满意度提升策略。

本文将公共汽车运行质量和服务质量进行交互分析的研究方法具有一定普适性,未来可进一步为不同城市、不同类型公共汽车线路定制不同的满意度提升策略。基于日益完善的公共交通大数据,可结合出行特征对乘客群体继续细化,挖掘其他运行质量数据与公共汽车满意度的匹配关系,并构建其他时段模型以进一步完善结论。

注释:

Notes:

① 增强出版网络文件可在中国知网在线阅读。

参考文献:

References:

- [1] 陈坚, 杨亚琛, 李小兵, 等. 基于SEM的城市公交方式选择行为模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2014, 14(5): 202-208.
CHEN J, YANG Y Z, LI X B, et al. Urban public transport mode selection behavior model based on SEM[J]. Transportation systems engineering and information, 2014, 14(5): 202-208.
- [2] 刘志伟, 刘建荣, 邓卫. 考虑潜在类别的市内机动化出行行为模型[J]. 西南交通大学学报, 2021, 56(1): 131-137.
LIU Z W, LIU J R, DENG W. Inclusion of latent class in behavior model of motorized travel in city[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2021, 56(1): 131-137.
- [3] CHOU P F, LU C S, CHANG Y H. Effects of service quality and customer satisfaction on customer loyalty in high-speed rail services in Taiwan[J]. Transportmetrica A: transport science, 2014, 10(10): 917-945.
- [4] 武荣栋, 翟栋栋, 郝恩崇, 等. 城市公共交通服务满意度评价模型[J]. 交通运输工程学报, 2009, 9(4): 65-70.
- WU R Z, ZHAI D D, XI E C, et al. Evaluation model of satisfaction degree for urban public transit service[J]. Journal of traffic and transportation engineering, 2009, 9(4): 65-70.
- [5] 彭晗, 吴金妹, 姚林晓. 基于AHP-DEMATEL法的公交换乘系统乘客满意度模糊评价[J]. 重庆交通大学学报(社会科学版), 2014, 14(1): 19-22.
PENG H, WU J M, YAO L X. Fuzzy evaluation of passenger satisfaction in bus transfer system based on AHP-DEMATEL method[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (social science edition), 2014, 14(1): 19-22.
- [6] Noor H M, Nasrudin N, Foo J. Determinants of customer satisfaction of service quality: city bus service in Kota Kinabalu, Malaysia [J]. Procedia-social and behavioral sciences, 2014, 153: 595-605.
- [7] Lierop D V, Elgwneidy A. Enjoying loyalty: the relationship between service quality, customer satisfaction, and behavioral intentions in public transit[J]. Research in transportation economics, 2016, 59: 50-59.
- [8] Karman A, Mohammad N H, Yaser E H. A multi-dimensional framework for evaluating the transit service performance[J]. Transportation research part A: policy and practice, 2013, 41(1): 47-61.
- [9] 刘建荣, 曹江昱. 基于Rasch模型的公交服务质量研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2019, 43(2): 208-212.
Liu J R, Cao J Y. Research on public transport service quality based on the Rasch model[J]. Journal of Wuhan University of Technology (transportation science & engineering), 2019, 43(2): 208-212.
- [10] 吕慎, 田锋, 莫一魁. 基于乘客感知的接驳公交服务质量评估[J]. 公路交通科技, 2019, 36(8): 152-158.
LYU S, TIAN F, MO Y K. Evaluating service quality of feeder buses based on passenger perception[J]. Journal of highway and transportation research and development, 2019, 36(8): 152-158.
- [11] Thomas J K, James G S, Steve C. Improving scheduling through performance monitoring using AVL/APC data: 59541322[R]. Portland, USA: Business, 2004.

(下转第129页)