

基于云模型的城市轨道交通乘客满意度评价

李林波¹, 郭晓凡², 傅佳楠¹, 吴 兵¹

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 同济大学 铁道与城市轨道交通研究院, 上海 201804)

摘要: 为了直观细致了解乘客在乘坐轨道交通时的体验感受, 从乘客感知角度构建了满意度评价指标体系, 采用 CRITIC (criteria importance through inter-criteria correlation) 法来实现指标的客观赋权, 并用基于云模型的基本算法生成评价云和结果云, 通过云的数字特征和云图的比较直观展现评价结果. 以上海市轨道交通 2 号线的乘客满意度评价为例, 验证了评价方法的有效性和合理性, 同时该评价结果除了反映乘客的满意程度, 也提供了对乘客认知差异和共识度的衡量, 使得其具备了更大的使用价值.

关键词: 轨道交通; 乘客满意度; 评价指标体系; CRITIC (criteria importance through inter-criteria correlation) 法; 云模型; 实证分析

中图分类号: U491

文献标志码: A

Evaluation Approach of Passenger Satisfaction for Urban Rail Transit Based on Cloud Model

LI Linbo¹, GUO Xiaofan², FU Jianan¹, WU Bing¹

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Institute of Rail Transit, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: In order to provide an intuitive understanding of passengers' experience in urban rail transit, a perceptible and identifiable index system of passenger satisfaction evaluation was established from the perspective of passengers, and the Criteria Importance Through Inter-criteria Correlation (CRITIC) method was adopted to achieve objective index weighting. The primary algorithms of cloud model theory were used to generate the evaluation cloud and the result cloud, which can more intuitively represent the evaluation results by the digital features of clouds and comparison of cloud figures. Finally, the passenger satisfaction evaluation of Shanghai Metro Line 2 was taken as an example to verify the validity and rationality of the evaluation approach, while the comprehensive evaluation result not only reflected the degree

of passenger satisfaction, but also provided a measure of the difference in passenger perception and degree of consensus, making it more valuable to use.

Key words: rail transit; passenger satisfaction; evaluation index system; CRITIC (criteria importance through inter-criteria correlation) method; cloud model; empirical analysis

城市轨道交通在不断满足出行需求的同时, 也凸显出管理水平和乘客服务期望之间的矛盾, 如何更好地提升服务以满足乘客需求从而留住客流是城市轨道交通可持续发展的关键, 乘客满意度评价则是轨道交通改善服务的重要手段. 满意度是一种情感反应, 是乘客对行程感知与期望比较后喜不喜欢的态度^[1], 显然, 满意度评价与具体的研究对象和评价主体有直接的关系, 然而, 在具体的评价过程中, 研究者往往凭文献或是经验对指标进行选取^[2-5], 由于在很大程度上夹杂了评价者自身的主观性, 较难适应日益发展变化的城市轨道交通现状. 在评价方法上, Celik 等^[6]提出了集成统计分析、二型模糊逻辑模型和 VIKOR 算法等新型评价框架; Aydin 等^[7]将乘客进行分类, 结合梯形模糊集合和 Choquet 积分, 以模糊分析的方法来评价城市轨道交通乘客满意度; Shen 等^[8]基于偏最小二乘的结构方程模型来进行城市轨道交通乘客满意度评价, 这些多方法集成性的评价体系结构复杂, 特别是常用的基于偏最小二乘法结构方程模型将变量间关系直接简化为线性关系, 并不一定适用于城市轨道交通中的所有因素关系.

在实际应用过程中, 国家已经发布了国标《城市公共交通乘客满意度评价方法 第 3 部分: 城市轨道交通》^[9](征求意见稿), 上海市交通委员会每个季度都会发布上海市轨道交通满意度评测报告^[10], 两者

收稿日期: 2018-04-26

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(71804127); 上海市哲学社会科学规划一般课题(2017BGL029)

第一作者: 李林波(1974—), 男, 副教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为交通规划.

E-mail: llinbo@tongji.edu.cn

通信作者: 郭晓凡(1992—), 男, 工学硕士, 主要研究方向为交通运输工程. E-mail: xfguo49@163.com



李林波
老师
访谈
录

在指标选取上虽有所区别,但基本上都是对各指标满意度评价的描述性统计,只是在权重的取值上采用了结构方程模型等进行分析.就轨道交通乘客满意度评价而言,对于需要结合乘客特点明确评价的内容,由于对影响乘客满意度水平的某些指标不能进行明确的描述,只能用相对模糊的设计原则来表达,评价方法必须简洁且具备较强的可扩展性,并在赋权环节应尽可能避免主观影响,因此,通过乘客对指标重要度认知的数据,结合多角度的递进筛选来建立评价指标体系,采用 CRITIC (criteria importance through inter-criteria correlation) 法对指标进行客观赋权,再根据满意度主观、模糊、差异等特点建立云评价模型,最后从乘客对满意度感知和期望的角度出发进行调查,通过实证分析验证所提出的理论方法的有效性和合理性.

1 城市轨道交通乘客满意度评价指标体系构建

城市轨道交通本质是一种出行服务,主要由票

务服务、导乘服务、行车服务、问询服务和应急服务等系列活动所形成,在多方面对乘客满意度产生影响,因此,满意度评价指标体系包含了多个维度的若干评价指标.根据评价指标体系适用性和科学性的原则,在文献分析过程中归纳总结出了大量基础指标,然后利用社会学深度访谈法从中筛选出具有代表性、可靠性、易认知区分的初始评价指标集.问卷设计的主旨在于收集乘客对初始评价指标重要程度的判定,因此采用李克特五级量表来了解乘客对这些初始评价指标重要度的判断.问卷由 49 个初始评价指标对应的 49 道问题项和其他基本信息项组成.指标筛选问卷调查共回收 297 份,其中有效问卷 271 份,问卷有效率为 91.3%,满足统计学要求.

运用临界比值法、信度检验和因子分析等方法分别从鉴别度、整体信度、代表性和实际意义方面对调查数据进行分析处理,将 49 个初始评价指标集精简为 24 个,并且划分为了拥挤、舒适、时效、便利、安全和经济共 6 个维度,较好地反映了乘客的真实感知^[1],相应的城市轨道交通乘客满意度评价指标体系如表 1 所示.

表 1 城市轨道交通乘客满意度评价指标体系

Tab.1 Index system of passenger satisfaction evaluation for urban rail transit

维度	指标	指标内容
拥挤	车站拥挤	站台、站厅层拥挤造成时间损耗和进出站舒适度变化
	车内拥挤	车厢内人流拥挤造成乘坐舒适度变化和上下车便利程度变化
舒适	车站温度	站台、站厅对室内温度感到舒适的程度
	车内温度	列车运行中对车内温度感到舒适的程度
	车站通风、空气质量	站台、站厅层通风情况及空气质量
	车内通风、空气质量	列车运行中车内通风情况及空气质量
时效	发车间隔	两列车之间的发车时间间隔
	停车时长	列车在车站的停车时间长短
	内部换乘便利性	从一条线路换到另一条线路的便利程度
	外部换乘便利性	从轨道交通换到公交车线路的便利程度
	车站可达性	车站设计位置的合理性和方便性
	进出站检票速度	出入口检票的快捷方便程度
	周末节假日运营时长	周末节假日首班车到末班车间的运营时长
便利	候车休息设施设置	站台、站厅层候车座椅、公共休息室设置及舒适程度
	车内扶手吊环设置	车内扶手、吊环使用的舒适程度
	站内便民设施设置	站台、站厅层是否设置便利店、售货机、ATM 机等便民设施
	残疾人设施设置	站内是否设置有相应的残疾人设施
	仪表着装	轨道交通工作人员的仪表着装得体程度
安全	列车运行安全	列车行车过程中的运行安全
	站内人身财产安全	乘坐时的人身财产安全
	进站安检	进站时的安检严格程度和服务态度
	应急事件处理	发生应急事件时运营方的处理得当程度
	应急设施设置	站内应急求助设施的设置和易用程度
经济	票价	现有票价对于现有提供服务和运营现状的性价比

2 基于 CRITIC 法的评价指标赋权

目前满意度评价中确定指标权重的方法可分为两类:一是主观赋权法,如 Delphi 法、层次分析法(AHP)法和专家评分法;二是客观赋权法,如标准离差法、熵权法等^[12]. 由于城市轨道交通乘客满意度评价指标体系中的每个指标均会包含大量的乘客评价数据,相比于熵权法和标准离差法仅根据指标内数据的变异性大小来确定权重,CRITIC 法还考虑了指标间数据的相关性,其本质是利用各指标的对比强度和冲突性来决定权重,避免了评价组织者的主观因素影响^[13],更能适合乘客满意度中动态性和全面性的特点,因此将 CRITIC 法引入城市轨道交通乘客满意度评价过程中对指标进行赋权.

根据 CRITIC 法原理并结合城市轨道交通满意度评价特点,设计指标赋权具体步骤如下.

(1)构建指标数据矩阵. 根据所构建的乘客满意度评价指标体系调查获得 n 个乘客的 m 个评价指标的满意度评价数据,组成初始评价指标数据矩阵 R .

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1j} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{i1} & \cdots & r_{ij} & \cdots & r_{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nj} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} (i = 1, 2, \dots, n; \\ j = 1, 2, \dots, m) \end{matrix} \quad (1)$$

式中: r_{ij} 为第 i 个乘客对第 j 项指标的满意度评价; n 为被调查的乘客数; m 为评价指标个数.

(2)各指标对比强度计算. 根据指标评价数据计算评价体系中第 j 项指标的对比强度,即标准差 σ_j .

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r_{ij} - \mu)^2} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

式中: μ 为该指标数据的算术平均值.

(3)指标间冲突性计算. 通过指标评价数据间的相关性系数来计算评价体系中第 j 项指标与其他指标间的冲突性 y_j .

$$y_j = \sum_{l=1}^m \left(1 - \frac{\text{Cov}(j, l)}{\sigma_j \sigma_l}\right) \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

式中: $\text{Cov}(j, l)$ 为指标 j 和指标 l 之间评价数据的协方差; σ_l 为指标 l 评价数据的标准差.

(4)综合信息量的计算. 结合指标的对比强度和冲突性来计算指标的综合信息量 C_j .

$$C_j = \sigma_j y_j \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

(5)计算各指标权重. 根据指标所含的综合信息

量来赋予权重 W_j .

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^m C_j} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

3 基于云模型的评价方法与流程设计

3.1 云模型的基本概念和数字特征

为了解析语言值的模糊性、随机性及二者的关联性问题,实现定量数值和定性语言之间的相互转换,可以运用云模型理论来处理不确定知识的定性、定量转换^[14].

设 U 为一定量论域, x 为 U 内的定量值. 论域 U 所对应的定性概念 T 对于任意一个 x 都存在一个有稳定倾向的随机数,其含义是 x 对 T 所表达的定性语言的隶属度为 A , 隶属度 A 在论域上的分布称为云,每一个 x 称为一个云滴,用数学语言描述为

$$A: U \rightarrow [0, 1]; \forall x \in U; x \rightarrow A(x) \quad (6)$$

云的数字特征可以产生云滴,经过一定数量的累积汇聚为云,从而实现从定性到定量的映射,主要通过期望 E_x 、熵 E_n 和超熵 H_e 这 3 个数值来表示,记为 $P = G(E_x, E_n, H_e)$. 其中,期望 E_x 表示对定性概念的基本确定性度量,即这个定性概念最具代表性的数值或样本;熵 E_n 为定性概念的不确定性度量,反映云滴中可被期望概念接受的确度大小和云滴的离散程度;超熵 H_e 是熵值的不确定性度量,可以体现定性概念被普遍接受的程度,即认知的共同程度较高则超熵较小,反之则较大.

3.2 云模型的基本算法

由于云模型实现的是定性概念和定量指标间的相互转换,因此对应的也分别存在正向云发生器法和逆向云发生器法 2 种方法^[14].

3.2.1 逆向云发生器法

(1)计算云滴样本的均值(样本均值即为期望 E_x)和方差 S^2 .

(2)计算云滴样本的熵 E_n .

$$E_n = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \times \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i - E_x| \quad (7)$$

式中: N 为样本总数; x_i 为第 i 个样本的观测值.

(3)如果 $S^2 - E_n^2 \geq 0$,则进行步骤(5),否则进行步骤(4).

(4)删除样本中离期望最近的 s 个样本点(当样本总数不多于 100 时, $s = 1$; 当样本总数大于 100 时, $s = 0.01 \times N$),并取 $N = 0.99 \times N$,再次计算方差.

(5) 计算云的超熵 H_e .

$$H_e = \sqrt{S^2 - E_n^2} \quad (8)$$

(6) 输出云滴的数字特征 (E_x, E_n, H_e) .

3.2.2 正向云发生器法

(1) 生成一个以熵 E_n 为期望值、超熵 H_e 为标准差的正态分布随机数 E'_n .

(2) 生成一个以期望 E_x 为期望值、 E'_n 为标准差的正态分布随机数 x .

(3) 计算该云滴的隶属度.

$$A = e^{-(x-E_x)^2/(2E_n^2)} \quad (9)$$

(4) 将 x 作为具有 A 的该定性概念的一个云滴.

(5) 重复 M 次上述步骤,直至产生 M 个云滴,若要满足 E_x 的误差不大于规定值 Δ ,则应满足生成的云滴数 $M \geq 9S^2/\Delta^2$.

3.3 满意度评价方法与流程设计

根据云模型原理,将整个满意度评价指标体系作为论域,把每位乘客作为一个云滴,所有乘客对所有指标评价综合结果所形成的云团整体特征即反映了城市轨道交通的乘客满意度,据此对满意度评价方法流程设计如下.

(1) 步骤1:确定因素集.已建立的城市轨道交通乘客满意度评价指标体系共包6个维度24个指标如表1.

(2) 步骤2:确定评价集和评价云.评价集为实际调查中各个定性评语属性所形成的集合,如果实际调查中有 g 个不同程度的满意度定性评语,则评价集 V 的表示形式为

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_g\} \quad (10)$$

式中: V_g 对应 g 个不同程度的满意度定性评语.如果满意度定性评语的下限和上限分别为 t_{\min} 、 t_{\max} ,根据其双边约束的评语范围区间来求解评价集中每个程度满意度评语的云数字特征^[15-16],并利用正向云发生器法求得满意度评价云,生成正态评价云图,将模糊的评价集转化为实际的满意度评价标尺.云数字特征的具体计算公式为

$$\begin{cases} E_x = \frac{t_{\max} + t_{\min}}{2} \\ E_n = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{6} \\ H_e = k \end{cases} \quad (11)$$

式中: k 为根据模糊程度而确定的常数,常取0.1.

(3) 步骤3:确定权重集.根据实际调查数据,利用CRITIC法来计算因素集内各个指标权重,并得出各维度的权重 w_1, w_2, \dots, w_6 和各指标在其所属维度内的权重 $w'_{11}, w'_{12}, \dots, w'_{61}$,最终得到整个指标

体系权重集 W . 各指标权重分别为 $w_{11}, w_{12}, w_{21}, \dots, w_{61}$.

$$\begin{cases} w_1 = w_{11} + w_{12} \\ w_2 = w_{21} + w_{22} + w_{23} + w_{24} \\ w_3 = w_{31} + w_{32} + w_{33} + w_{34} + w_{35} + w_{36} + w_{37} \\ w_4 = w_{41} + w_{42} + w_{43} + w_{44} + w_{45} \\ w_5 = w_{51} + w_{52} + w_{53} + w_{54} + w_{55} \\ w_6 = w_{61} \end{cases} \quad (12)$$

$$w'_{11} = \frac{w_{11}}{w_1}, w'_{12} = \frac{w_{12}}{w_1}, \dots, w'_{61} = \frac{w_{61}}{w_6} \quad (13)$$

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_6\} = \{w'_{11}, w'_{12}, \dots, w'_{61}\} \quad (14)$$

(4) 步骤4:确定评价结果云.以实际调查数据为基础来计算各指标实际的云数字特征,利用逆向云发生器法,生成指标集的对应云参数矩阵 Z 如下:

$$Z = \begin{Bmatrix} c_{11} \\ c_{12} \\ \vdots \\ c_{61} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} E_{x11}, E_{n11}, H_{e11} \\ E_{x12}, E_{n12}, H_{e12} \\ \vdots \\ E_{x61}, E_{n61}, H_{e61} \end{Bmatrix} \quad (15)$$

根据求得的权重集 W 和指标云参数矩阵 Z ,城市轨道交通乘客满意度评价的结果云模型表述为

$$C = W \times Z \quad (16)$$

由于该运算过程涉及到云参数和常规参数间的混合运算,根据云模型的运算规则结合模糊运算规律,各项云参数的具体计算过程如下:

$$\begin{cases} E_x = \sum E_{x_i} w_i \\ E_n = \sqrt{\sum (E_{n_i}^2 w_i)} \\ H_e = \sum H_{e_i} w_i \end{cases} \quad (17)$$

据此,可计算出各个维度的评价云和整体乘客满意度的综合评价云.

(5) 步骤5:比较与评价结果确定.利用正向云发生器将综合评价云模型 C 生成正态云,并与评价云图比较,根据正态云在评价云图中所处的云图范围和形态,可以归纳出相应的评价结果,或将每个维度、每个指标的评价结果云模型生成正态云,在评价云图中进行比较评价,或将不同的城市轨道交通线路评价生成的综合评价云放置在一起进行比较,判断乘客在线路满意度评价、评价模糊性和共识度等方面的差异.

4 实证分析

上海轨道交通2号线开通时间极早,连接了虹

桥综合交通枢纽和浦东国际机场 2 个交通重点集散地,并经过了静安寺、人民广场、南京东路、陆家嘴等多个核心区域,是连接上海东西部的交通大动脉,具备极强的代表性和突出的自身特点,如较高的运营里程、较多的站点数和较长的运营时长,且每日客流量和故障次数指标都远远高于其他线路,故选取轨道交通 2 号线进行实证研究。

4.1 调查问卷设计

根据已建立的城市轨道交通乘客满意度评价指标体系的 24 个指标,满意度调查问卷结构设计包括被调查乘客基本信息和满意度评价两部分。其中,结合认知-预期模型^[17],满意度评价部分细分为乘客实际感知和乘客需求期望 2 个部分,每个指标都会在乘客实际感知和乘客需求期望两方面来设计问题。问题量表设计时采用目前应用最广泛、最成熟的李克特五级量表,具体可表达为

$$r_{ij} = H_{ij} - P_{ij} (j = 1, 2, \dots, 24) \quad (18)$$

式中: H_{ij} 代表第 i 个乘客对第 j 项指标服务的实际感受,以实际体验的好坏程度来表示; P_{ij} 代表第 i 个乘客对第 j 项指标的需求期望,即乘客认为该指标至少应该达到多少分。

4.2 问卷调查和检验

问卷调查采用网上调查和现场调查相结合的方式进行。网上调查通过问卷星平台制作在线调查问卷,将问卷连接发布到上海相关论坛、贴吧、朋友圈、专业调查网站等平台上,由浏览的用户进行填写,通过设置前置问题等方式保证被调查者为上海轨道交通 2 号线乘客,通过设置回答所有问题才可提交来保证调查的有效性。实地调查采用随机抽样的方式选取被调查乘客,选取 2018 年 2 月 25 日(非工作日)、26 日(工作日)、27 日(工作日)、3 月 2 日(元宵节、周五工作日)、3 日(非工作日)共 5 天进行调查,具体调查时间段为工作日的早高峰(7:00—9:30)、平峰(10:00—17:00)和晚高峰(17:30—20:00)3 个时间段以及非工作日的高峰时段(9:00—17:00),具体调查地点为虹桥火车站、人民广场、陆家嘴、世纪大道、广兰路和浦东机场等重要站点及跟车调查。

通过调查,网上调查共收集问卷 113 份,剔除作答时间过长或过短、随意作答等无效问卷 13 份,得到有效问卷 100 份。实地调查共发放问卷 438 份,回收问卷 300 份,从中剔除作答时间过长或过短、随意作答、问卷未完成等无效问卷 8 份,得到有效问卷 292 份。二者综合,共得到有效问卷 392 份,满足 95%的置信度水平及 5%的偏差度要求下 384 个有

效样本量的标准。同时,有效问卷回收率为 71.1%,满足社会学调查有效问卷回收率需达到 70%以上的标准要求。

对有效问卷利用 Cronbach α 系数进行信度检验,各维度的 α 一致性系数均大于 0.7,整体 α 一致性系数接近 0.9,说明问卷整体的信度较高,具有较好的一致性和稳定性;效度检验方面 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)值为 0.848,且显著度 $p < 0.01$,很适合做因子分析,结果表明各个指标的共同度值均远大于 0.4,说明每个指标问题对乘客满意度的影响都是显著的,整个问卷的有效性和可靠性较高。

4.3 云模型评价

为方便表示,将计算得到的每位乘客的满意度评价数据(−4~+4 分)依次转化为对应的正分数(1~9 分),确定评价集 $V = \{\text{非常不满意}(1 \text{ 分}), \text{很不满意}(2 \text{ 分}), \text{不满意}(3 \text{ 分}), \text{较不满意}(4 \text{ 分}), \text{一般}(5 \text{ 分}), \text{较满意}(6 \text{ 分}), \text{满意}(7 \text{ 分}), \text{很满意}(8 \text{ 分}), \text{非常满意}(9 \text{ 分})\}$,且根据式(11),可得出各等级评价云参数为:非常不满意(1.5, 0.167, 0.1)、很不满意(2.0, 0.333, 0.1)、不满意(3.0, 0.333, 0.1)、较不满意(4.0, 0.333, 0.1)、一般(5.0, 0.333, 0.1)、较满意(6.0, 0.333, 0.1)、满意(7.0, 0.333, 0.1)、很满意(8.0, 0.333, 0.1)、非常满意(8.5, 0.167, 0.1)。

然后,根据 CRITIC 方法,利用转化后的乘客满意度评价分数构成数据矩阵,依次计算各指标的对比强度、冲突性和综合信息量,得出各指标的权重,并根据式(12)和(13),计算各维度的权重和各指标在其所属维度内的权重如表 2 所示。

运用逆向云发生器法,生成指标集的对云参数矩阵 Z ,同时结合已得出的维度集 W ,根据式(16)和(17)进行计算,可得出上海轨道交通 2 号线乘客满意度综合评价结果云参数为 $C(4.530, 1.326, 0.282)$ 。且最终各指标、各维度的评价结果云参数如表 3 所示。

为了更直观地评价结果的优劣程度,采用正向云发生器法将结果云 C 生成正态云并置于评价云图中。根据云模型理论,为保证误差小于 0.01,特取云滴数 $M=2\ 000$ 来生成正态云图,得出的结果云图如图 1 所示。

4.4 评价结果分析

从图 1 中可以看出,上海轨道交通 2 号线乘客满意度在 4.530 处隶属度最高,云滴也最为集中,位于“较不满意”和“一般”的评价云之间,说明对于 2 号线来说,乘客满意度总体上有所欠缺。然而,评价

表 2 评价指标体系的权重集
Tab.2 Weight set of evaluation index system

指标	权重	对比强度	冲突性	综合 信息量	指标 权重	维度	维度权重	指标在维 度内权重
车站拥挤	w_{11}	1.170	20.318	23.773	0.037	拥挤	$w_1=0.085$	0.435
车内拥挤	w_{12}	1.493	20.711	30.923	0.048			0.565
车站温度	w_{21}	1.287	20.313	26.152	0.041	舒适	$w_2=0.178$	0.227
车内温度	w_{22}	1.352	21.184	28.632	0.044			0.249
车站通风、空气质量	w_{23}	1.459	20.995	30.631	0.047			0.266
车内通风、空气质量	w_{24}	1.402	21.120	29.603	0.046			0.257
发车间隔	w_{31}	1.196	19.514	23.340	0.036	时效	$w_3=0.296$	0.122
停车时长	w_{32}	1.523	19.058	29.033	0.045			0.152
轨交换乘便利性	w_{33}	1.427	20.215	28.846	0.045			0.151
公交换乘便利性	w_{34}	1.444	19.557	28.233	0.044			0.148
车站可达性	w_{35}	1.449	19.528	28.300	0.044			0.148
进出站检票速度	w_{36}	1.423	19.443	27.671	0.043			0.145
周末节假日运营时长	w_{37}	1.310	19.563	25.631	0.040			0.134
候车休息设施设置	w_{41}	1.222	19.231	23.501	0.036	便利	$w_4=0.219$	0.166
车内扶手吊环设置	w_{42}	1.514	19.806	29.995	0.046			0.212
站内便民设施设置	w_{43}	1.380	19.937	27.514	0.043			0.195
残疾人设施设置	w_{44}	1.537	20.611	31.679	0.049			0.224
仪表着装	w_{45}	1.372	20.812	28.560	0.044			0.202
列车运行安全	w_{51}	1.060	19.776	20.966	0.032	安全	$w_5=0.185$	0.176
站内人身财产安全	w_{52}	1.253	19.876	24.907	0.039			0.209
进站安检	w_{53}	1.237	19.763	24.453	0.038			0.205
应急事件处理	w_{54}	1.303	19.931	25.962	0.040			0.218
应急设施设置	w_{55}	1.167	19.676	22.963	0.036			0.193
票价	w_{61}	1.127	21.396	24.108	0.037	经济	$w_6=0.037$	1.000

表 3 上海轨道交通 2 号线乘客满意度评价结果云参数

Tab.3 Cloud parameters of passenger satisfaction evaluation of Shanghai rail transit line 2

指标	指标云参数			维度	维度云参数		
	期望	熵	超熵		期望	熵	超熵
车站拥挤	3.860	1.171	0.108	拥挤	3.541	1.403	0.121
车内拥挤	3.296	1.558	0.132				
车站温度	3.952	1.270	0.212	舒适	3.958	1.365	0.250
车内温度	4.110	1.295	0.387				
车站通风、空气质量	3.957	1.428	0.298				
车内通风、空气质量	3.819	1.442	0.100				
发车间隔	4.959	1.069	0.536	时效	4.926	1.315	0.480
停车时长	4.936	1.435	0.512				
轨交换乘便利性	4.842	1.378	0.371				
公交换乘便利性	4.875	1.428	0.209				
车站可达性	4.931	1.321	0.595				
进出站检票速度	4.995	1.287	0.607				
周末节假日运营时长	4.954	1.188	0.552				
候车休息设施设置	4.602	1.256	0.059	便利	4.736	1.399	0.249
车内扶手吊环设置	4.773	1.473	0.353				
站内便民设施设置	4.722	1.369	0.173				
残疾人设施设置	4.691	1.556	0.111				
仪表着装	4.870	1.269	0.523				
列车运行安全	4.740	1.030	0.251	安全	4.625	1.217	0.113
站内人身财产安全	4.503	1.275	0.120				
进站安检	4.617	1.244	0.109				
应急事件处理	4.648	1.312	0.087				
应急设施设置	4.638	1.167	0.010				
票价	4.686	1.096	0.262	经济	4.686	1.096	0.262

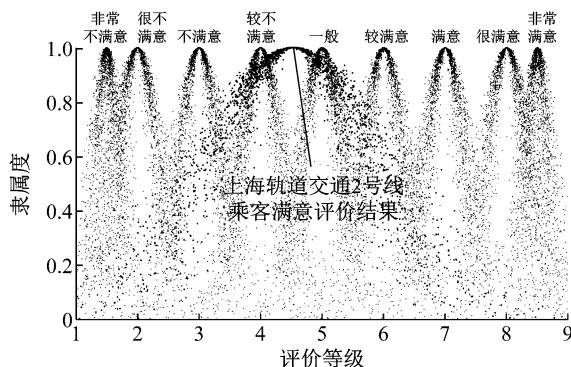


图 1 上海轨道交通 2 号线乘客满意度评价的结果云图

Fig. 1 Result cloud of passenger satisfaction evaluation of Shanghai rail transit line 2

结果云的跨度范围远大于图内的评价云,反映了乘客对上海轨道交通 2 号线的服务满意程度存在着较大的认知范围差距,体现了乘客满意度的主观性和模糊性特点。此外,评价结果云的离散程度和厚度远大于评价云,说明了不同乘客群体对于这个满意度评价结果并未达成很好的共识,评价结果存在一定的随机性。总体来说,该评价结果说明上海轨道交通 2 号线的服务水平勉强满足了乘客基本的期望需求,也存在着很大的改进空间,尤其是乘客群体认知差距较大和未达成共识的问题,说明了一些乘客群体对服务较为满意,但另一部分则较不满意,作为服务于全体居民的公共交通干线,2 号线的整体服务水平还有待提高。

进一步对表 2 与表 3 进行分析,譬如在“舒适”维度上,实际的乘客满意度处于“较不满意”状态,乘客认知存在较大差距,说明 2 号线在“舒适”性服务方面令乘客较不满意,但不同乘客对该方面的体验和认知差异较大,结合 2 号线的基本情况,其线路运营里程较长、运营车站较多,不同站点或车辆的通风、温控设备性能会存在差异,与乘客满意度的评价差异相吻合。由于其总体满意度较低,且“车站通风空气质量”指标权重较重,建议运营方首要的任务是对通风设备进行及时维护保养和检修更换,尽可能改善这一乘客重视且评价较低、差异较大的维度。同样,其他维度可以做出同样的解析,并给出相应的改善建议。

5 结语

从乘客感知和期望角度出发,建立了轨道交通动态评价方法:首先针对调查对象对初始指标集进行调查筛选,得到 6 个维度 24 个评价;然后综合乘

客满意度表述的主观性和评价需求的客观性,确定了评价指标权重 CRITIC 计算方法和以云模型理论为基础的乘客满意度评价模型;最后以上海市轨道交通 2 号线的乘客满意度评价为例进行了分析应用。

充分考虑了评价的动态性和扩展性,其所采用的评价指标是在评价过程中,基于乘客认知的调查数据,通过对初始指标集进行筛选获得,具有较强的客观性,且随着时间的推进,可以随着乘客的认知变化进行动态的调整改变,更具针对性,并且评价方法依然适用,具备较强的可扩展性,符合城市轨道交通快速发展的现状。

在评价过程中,由于考虑了乘客的期望,相比于传统的单个问题直接询问式调查能更真实地获取乘客满意度感受并反映其心理诉求,减少不同乘客评价时的差异性和可能的数据极度偏斜问题,使结果更准确。

此外,评价结果除了能定量确定乘客对城市轨道交通满意的程度外,还把乘客群体对该评价结果的随机性、模糊性、差异性等因素直观地展现出来,体现了评价数据的离散程度和分布范围,便于提出较有针对性的建议以及措施的优先顺序。

乘客满意度作为城市轨道交通服务水平的重要体现,其评价的科学性和准确性直接影响到了城市轨道交通的发展与改进方向,如果能量化不同乘客群体和满意度之间的关系,精确找出满意度评价较低的群体特征画像,便可做到更为精细化的管理与优化,更好地提高城市轨道交通的服务质量。

参考文献:

- [1] OLIVER R L. Measurement and evaluation of satisfaction processes in retail Settings[J]. Journal of Retailing, 1981, 57 (3):25.
- [2] 张双. 地铁乘客满意度评价体系研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
ZHANG Shuang. A research on passenger satisfaction evaluation system of subway [D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [3] 张慧慧. 基于乘客满意度的城市轨道交通服务质量评价[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
ZHANG Huihui. Evaluation of service quality of urban rail transit based on passenger satisfaction[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009.
- [4] 肖娟, 李枫. 基于偏最小二乘法的城轨交通乘客满意度测评方法[J]. 城市轨道交通研究, 2011, 14(7): 56.
XIAO Juan, LI Feng. Assessment on passengers' satisfaction about urban rail transit based on PLS[J]. Urban Mass Transit,

- 2011, 14(7): 56.
- [5] 樊茜琪, 蒲琪, 尹聪聪. 基于乘客感知的城市轨道交通客运服务质量综合评价[J]. 城市轨道交通研究, 2013, 16(11): 49.
FAN Qianqi, PU Qi, YIN Congcong. Comprehensive evaluation of passenger service quality for urban rail transit based on passengers' perception[J]. Urban Mass Transit, 2013, 16(11): 49.
- [6] CELIK E, AYDIN N, GUMUS A T. A multiattribute customer satisfaction evaluation approach for rail transit network: A real case study for Istanbul, Turkey[J]. Transport Policy, 2014, 36(11):283.
- [7] AYDIN N, CELIK E, GUMUS A T. A hierarchical customer satisfaction framework for evaluating rail transit systems of Istanbul[J]. Transportation Research Part A Policy & Practice, 2015, 77(7):61.
- [8] SHEN W, XIAO W, WANG X. Passenger satisfaction evaluation model for urban rail transit: A structural equation modeling based on partial least squares[J]. Transport Policy, 2016, 46(2):20.
- [9] 标准起草小组. 城市公共交通乘客满意度评价方法 第3部分:城市轨道交通[EB/OL]. [2018-09-21]. <http://www.docin.com/p-1701134747.html>.
Standard Drafting Team. Urban public transport passenger satisfaction level evaluation method, the third part: urban rail transit [EB/OL]. [2018-09-21]. <http://www.docin.com/p-1701134747.html>.
- [10] 上海市交通委员会. 上海市轨道交通运营服务乘客满意度测评报告[R]. [2018-09-21]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1609330397847072177&wfr=spider&for=pc>.
Shanghai Municipal Transportation Commission. Passenger satisfaction evaluation report of Shanghai rail transit operation service [R]. [2018-09-21]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1609330397847072177&wfr=spider&for=pc>.
- [11] LI Linbo, BAI Yufang, SONG Ziqi, *et al.* Public transportation competitiveness analysis based on current passenger loyalty[J]. Transportation research Part A: Policy and Practice, 2018, 113(7): 213.
- [12] 余后强, 李玲. 基于熵权法和CRITIC法的五类企业综合评价[J]. 湖北科技学院学报, 2012, 32(12):83.
YU Houqiang, LI Ling. The comprehensive evaluation of five kinds of enterprises based on entropy weight method and CRITIC method[J]. Journal of Hubei University of Science and Technology, 2012, 32(12):83.
- [13] DIAKOULAKI D, MAVROTAS G, PAPAYANNAKIS L. Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method[J]. Computers & Operations Research, 1995, 22(7):763.
- [14] 李德毅, 杜鹁. 不确定性人工智能[M]. 2版. 北京: 国防工业出版社, 2014.
LI Deyi, DU Yi. Artificial intelligence with uncertainty [M]. 2nd ed. Beijing: National Defence Industry Press, 2014.
- [15] WANG D, LIU D, DING H, *et al.* A cloud model-based approach for water quality assessment [J]. Environmental Research, 2016, 148(7):24.
- [16] 李琳琳, 路云飞, 张壮, 等. 基于云模型的指挥控制系统效能评估[J]. 系统工程与电子技术, 2018, 40(4):815.
LI Linlin, LU Yunfei, ZHANG Zhuang, *et al.* Performance evaluation of command and control system based on cloud model [J]. Systems Engineering and Electronics, 2018, 40(4):815.
- [17] 刘满凤, 黎志成. 顾客满意度的测评[J]. 统计与决策, 2002(7):11.
LIU Manfeng, LI Zhicheng. Evaluation of customer satisfaction [J]. Statistics and Decision, 2002(7):11.