

基于物元可拓理论的城市轨道交通服务质量横向评价

陈天炎^{1,2}, 陈景煦^{1,2}

(1. 福建船政交通职业学院 轨道交通学院, 福州 350007;

2. 福建船政交通职业学院 轨道交通安全协同创新中心, 福州 350007)

摘要: 针对现阶段国内城市轨道交通服务质量评价既难以直观反映各评价对象的服务质量差异, 也难以直接呈现影响服务质量的关键因素的问题, 提出基于物元可拓理论的城市轨道交通服务质量横向评价方法。该方法涵盖评价指标体系构建、物元可拓模型构建、评价指标赋权、总关联度计算及评价等级确定等关键步骤。选取具有代表性的城市轨道交通车站服务质量横向评价进行实证分析。研究成果为城市轨道交通运营管理部门提供优化服务质量的科学依据和针对性改进建议, 对推动城市轨道交通行业的可持续发展具有重要意义。

关键词: 城市轨道交通; 服务质量评价; 物元可拓; 熵权; 关联度; 有轨电车

中图分类号: U239.5

文献标志码: A

文章编号: 2097-3853(2025)03-0299-08

Horizontal service quality evaluation of urban rail transit based on matter-element extension theory

CHEN Tianyan^{1,2}, CHEN Jingxu^{1,2}

(1. School of Rail Transit, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou 350007, China;

2. Collaborative Innovation Center for Rail Transit Safety, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou 350007, China)

Abstract: In view of the problems that the service quality evaluation of domestic urban rail transit cannot directly reflect the difference of the service quality between various evaluation objects, nor can it directly present the key factors affecting the service quality, a horizontal service quality evaluation method of urban rail transit based on the matter-element extension theory is put forward. The method covers the key steps of the construction of evaluation index system, the construction of matter-element extension model, the weighting of evaluation index, the calculation of total correlation degree and the determination of evaluation grade. The horizontal service quality evaluation of the stations of a representative urban rail transit is selected for empirical analysis. Research results provide scientific basis and targeted improvement suggestions for operation-management departments of urban rail transit to optimize service quality, which is of great significance for promoting the sustainable development of urban rail transit industry.

Keywords: urban rail transit; service quality evaluation; matter-element extension; entropy weight; correlation degree; tram

作为现代城市公共交通体系的重要组成部分, 城市轨道交通以其绿色、安全、高效等优势, 极大缓解了城市交通拥堵问题。然而, 城市轨道交通网络不断扩展, 客流量持续增长, 其服务质量常

难以跟进。对城市轨道交通服务质量进行科学、全面的评价从而为运营管理部门提升服务质量提供科学依据, 至关重要。

现有研究在评价方法上仍存在多方面局限。

收稿日期: 2024-09-23

基金项目: 2023年中国高校产学研创新基金-新一代信息技术创新项目(2023IT012); 福建省中青年教育科研项目(JZ230073); 福建船政交通职业学院科教发展基金项目(20230111)

第一作者简介: 陈天炎(1981—), 男, 福建长乐人, 教授, 硕士, 研究方向: 机械电子工程、轨道交通服务质量评价。

首先,现有评价方法在确定权重时,多采用单一的主观或客观赋权方法,导致评价结果存在一定的偏差,例如何静等^[1]采用层次分析法确定权重,虽然考虑了乘客需求,但主观性过强;陈维亚等^[2]采用熵权法确定权重,虽然减少了主观因素,但未能充分考虑专家意见。其次,现有评价方法在构建评价指标体系时,未能充分考虑各指标之间的关联性,导致评价结果不够全面,例如谷素斐等^[3]构建了城市轨道交通客运服务质量评价指标体系,但各指标间关联性分析不足;刘志钢等^[4]基于 ECR 模型构建评价指标体系,同样存在这一问题。再者,现有评价方法在评价过程中,多采用线性评价模型,难以反映城市轨道交通服务质量的非线性特征,例如樊茜琪等^[5]采用线性加权法进行评价,未能充分考虑非线性特征;尹聪聪等^[6-7]虽然对评价指标进行了研究,但同样采用线性评价模型。如何从理论上突破上述局限,已成为亟待解决的问题。

物元可拓理论为城市轨道交通服务质量评价提供了新思路。物元理论通过探究事物的变化过程和条件,分析其发展规律,寻求解决不相容问题的思路^[8]。可拓集合则在事物客观分类的基础上,将特征引入事物集合,从而量化研究对象,便于以数学工具求解^[9]。作为二者的结合,物元可拓理论将事物、特征及其量值进行合理有效的整合,能更准确地描述评价指标的实际情况,提高服务质量评价的准确性^[10]。此外,物元可拓理论采用合理的逻辑关系处理事物内部矛盾,还可以有效避免主观因素对评价的干扰^[11]。

本研究基于物元可拓理论提出城市轨道交通服务质量横向评价方法。针对不同评价对象;以评价指标为特征,将各对象的各指标量化,构建物元可拓模型,从而开展横向评价。

1 评价方法阐述

评价方法的整体流程如图 1 所示。

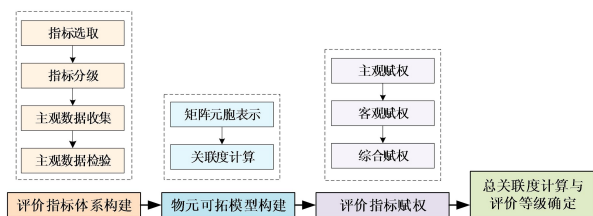


图 1 评价方法整体流程

Fig.1 Overall process of evaluation method

1.1 评价指标体系构建

横向评价对象为不同线路、不同车站或不同车次。评价指标可根据业主需求及评价目标,从效率、礼仪、设施、环境等大类中选取,其中既有主观指标,又有客观指标。

为评价指标分级,并指定各等级的评价值区间。对于客观指标,可直接采用指标量值作为评价值。对于主观指标,结合李克特量表^[12]与 SERVQUAL 法^[13],通过问卷调查收集乘客对各指标的满意程度。乘客需要根据所感受与所期望服务质量的差距对各指标评分,分值越高,表示乘客对服务质量的评价越高,乘车体验越好。对于某评价对象,各乘客对某指标评分的算术均值即该对象该指标的评价值。

对于收集的主观指标乘客评分,还需作信、效度检验。

采用克隆巴赫系数进行信度检验^[14],公式为:

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \times \frac{S_X^2 - \sum S_i^2}{S_X^2} \quad (1)$$

其中, α 为克隆巴赫系数; K 为量表中评估项目的总数; S_i^2 为第 i 项目得分的方差; S_X^2 全部项目得分总和的方差。信度评判准则见表 1。

表 1 信度评判准则

Tab.1 Criterion of reliability

克隆巴赫系数区间	结论
$0 \leq \alpha < 0.3$	不可信
$0.3 \leq \alpha < 0.4$	勉强可信
$0.4 \leq \alpha < 0.5$	较可信
$0.5 \leq \alpha < 0.7$	可信
$0.7 \leq \alpha < 0.9$	很可信
$\alpha \geq 0.9$	非常可信

采用抽样适度测定值进行效度检验^[14],公式为:

$$K = \frac{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} p_{ij}^2} \quad (2)$$

其中, K 为抽样适度测定值; r_{ij} 为变量 i, j 间的简单相关系数; p_{ij} 为变量 i, j 间的偏相关系数。效度评判准则见表 2。

表 2 效度评判准则
Tab.2 Criterion of validity

抽样适度测定值区间	结论
$0.9 < K \leq 1$	非常适用于因子分析
$0.8 < K \leq 0.9$	比较适用于因子分析
$0.6 < K \leq 0.8$	一般适用于因子分析
$0.5 < K \leq 0.6$	勉强适用于因子分析
$0 \leq K \leq 0.5$	不适用于因子分析

1.2 物元可拓模型构建

1.2.1 物元、经典域、节域表示

物元矩阵 $R_{ij} = [V_{ij}]_{n \times m}$ 表示各对象各指标的评价值^[15]。其中, V_{ij} 为第 j 对象第 i 指标的评价值, n 为指标总数, m 为对象总数; $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m$ 。

经典域矩阵 $R_{ik} = \{(V_{ik})\}_{n \times l} = \{(a_{ik}, b_{ik})\}_{n \times l}$ 表示各指标各等级的评价价值区间^[15]。其中, (V_{ik}) 为第 i 指标第 p 等级的评价价值区间, (\cdot) 表示可开可闭区间; a_{ik}, b_{ik} 分别为第 i 指标第 p 等级的评价价值下、上界; $k = 1, 2, \dots, l, l$ 为等级总数。

节域向量 $R_i = \{(V_i)\}_{n \times 1} = \{(A_i, B_i)\}_{n \times 1}$ 表示各指标的评价价值区间^[15]。其中, (V_i) 为第 i 指标的评价价值区间; A_i, B_i 分别为第 i 指标的评价价值下、上界。

1.2.2 关联度计算

设区间 $X_0 = (a, b), X = (c, d)$, 且 $a > c, b < d$, 则点 x 关于区间 X_0, X 的关联度 K 为:

$$K = \frac{\rho(x, X_0)}{D(x, X_0, X)} \quad (3)$$

其中,

$$\rho(x, X_0) = \left| x - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{b-a}{2} \quad (4)$$

为点 x 到区间 X_0 的“距”。

$$D(x, X_0, X) =$$

$$\begin{cases} \rho(x, X) - \rho(x, X_0), \rho(x, X) \neq \rho(x, X_0) \wedge x \notin X_0 \\ -1, \rho(x, X) = \rho(x, X_0) \wedge x \notin X_0 \\ a-b, x \in X_0 \end{cases} \quad (5)$$

为点 x 到区间 X_0, X 组成的区间套的“位”^[15]。

根据 1.2.1 可知, V_{ij} 处于 a_{ik} 与 b_{ik} 之间, 则有

$$\rho(V_{ij}, (V_{ik})) = \left| V_{ij} - \frac{a_{ik} + b_{ik}}{2} \right| - \frac{b_{ik} - a_{ik}}{2} \quad (6)$$

其中, a_{ik}, b_{ik} 分别为第 i 指标第 p 等级的评价价值下、上界。

$$\rho(V_{ij}, (V_i)) = \left| V_{ij} - \frac{A_i + B_i}{2} \right| - \frac{B_i - A_i}{2} \quad (7)$$

其中, A_i, B_i 分别为第 i 指标的评价价值下、上界;

$$D(V_{ij}, (V_{ik}), (V_i)) =$$

$$\begin{cases} \rho(V_{ij}, (V_i)) - \rho(V_{ij}, (V_{ik})), V_{ij} \notin (V_{ik}) \\ a_{ik} - b_{ik}, V_{ij} \in (V_{ik}) \end{cases} \quad (8)$$

第 j 对象第 i 指标评价价值关于第 i 指标第 k 等级经典域和第 i 指标节域的关联度 K_{ijk} 为:

$$K_{ijk} = \frac{\rho(V_{ij}, (V_{ik}))}{D(V_{ij}, (V_{ik}), (V_i))} \quad (9)$$

可见, 若 $V_{ij} \in (V_{ik})$, 则 $K_{ijk} > 0$; 反之, 若 $V_{ij} \notin (V_{ik})$, 则 $K_{ijk} < 0$ 。

1.3 评价指标赋权

目前评价指标赋权广泛采用层次分析法, 该法主观性较强, 易受人为因素干扰。本研究提出采用主、客观综合赋权, 以提高赋权准确性。

1.3.1 主观赋权: 权因子法

遴选城市轨道交通行业权威专家学者和企业运营管理人员, 建立评分组。评分组根据大类和指标的重要程度为二者评分, 分值越高, 表示大类或指标越重要, 对服务质量的整体影响越大^[16]。例如, 在某次评价中, 选取 3 个大类, 每个大类内又选取 3 个指标, 各大类、指标及其评分见表 3。

表 3 主观赋权评分示例

Tab.3 Example of subjective empowerment scoring

大类	大类评分	指标	指标评分
A	S_A	i	S_i
		j	S_j
		k	S_k
B	S_B	l	S_l
		m	S_m
		n	S_n
C	S_C	o	S_o
		p	S_p
		q	S_q

以大类 A 内的指标 i 为例, 计算大类主观权第 A 大类的主观权 a_A 为:

$$a_A = \frac{S_A}{S_A + S_B + S_C} \quad (10)$$

其中, S_A 、 S_B 、 S_C 为各大类评分, 见表 3。

第 i 指标在第 A 大类内的主观权 a_{iA} 为:

$$a_{iA} = \frac{S_i}{S_i + S_j + S_k} \quad (11)$$

其中, S_i 、 S_j 、 S_k 为大类内各指标的评分, 见表 3。

第 i 指标的主观权 a_i 为:

$$a_i = a_A a_{iA} \quad (12)$$

1.3.2 客观赋权: 熵权法

第 i 指标第 j 对象的正则化评价值 \tilde{c}_{ij} 为:

$$\tilde{c}_{ij} = \frac{c_{ij} - \min(c_i)}{\max(c_i) - \min(c_i)} \quad (13)$$

其中, c_{ij} 为第 i 指标第 j 对象的评价值; c_i 为第 i 指标各对象的评价值^[17]。

第 i 指标第 j 对象的正则化评价值占比 P_{ij} 为:

$$P_{ij} = \frac{\tilde{c}_{ij}}{\sum_{j=1}^m \tilde{c}_{ij}} \quad (14)$$

第 i 指标的熵 E_i 为:

$$E_i = - \frac{\sum_{j=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}}{\ln m} \quad (15)$$

第 i 指标的差异性系数 d_i 为:

$$d_i = 1 - E_i \quad (16)$$

评价指标存在的差异越大, 则熵越小, 差异性系数越大, 表明该指标对服务质量的影响越大, 也就越重要。

某指标的客观权为该指标差异性系数在各指标差异性系数之和中的占比。第 i 指标的客观权 b_i 为:

$$b_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^n d_i} \quad (17)$$

1.3.3 综合赋权

某指标的综合权为该指标主、客观权几何均值在各指标主、客观权几何均值之和中的占比。

第 i 指标的主、客观权几何均值 \tilde{w}_i 为:

$$\tilde{w}_i = \sqrt{\frac{a_i^2 + b_i^2}{2}} \quad (18)$$

第 i 指标的综合权 w_i 为:

$$w_i = \frac{\tilde{w}_i}{\sum_{i=1}^n \tilde{w}_i} \quad (19)$$

1.4 总关联度计算与评价等级确定

分别计算各对象与各等级的总关联度。第 j 对象与第 k 等级的总关联度 K_{jk} 为:

$$K_{jk} = \sum_{i=1}^n w_i K_{ijk} \quad (20)$$

各对象的评价等级 G 为使该对象达到最大总关联度的等级 k , 即

$$\max_k K_{jk} \Rightarrow G = k \quad (21)$$

2 评价方法应用

2.1 应用场景简介

本研究对武夷有轨电车运营车站进行服务质量横向评价。武夷有轨电车线路全长 26.185 km, 运营南平市高铁、城村、仙店、东山埔、南源岭、武夷山等 6 座车站。采用 4 节编组电车, 运行速度达 40 km/h, 是国内速度最快的有轨电车。截至 2023 年底, 共安全运营 730 d, 总运营里程 122.86 万列 km, 总载客量 30.16 万人^[18]。

虽然武夷有轨电车客运强度总体较低, 但其仍具备城市轨道交通的基本属性, 可作为验证评价方法可行性与优势的实例。同时, 通过探讨三、四线城市轨道交通低客运强度下的评价标准调整策略, 可丰富服务质量评价的实践。

2.2 评价指标体系构建

由于服务质量的感受方为乘客, 提升方为运营管理部门, 因此通过问卷调查收集乘客对车站服务的期望与意见, 同时访谈了解运营管理部门提高运营效率和服务水平的目标。在上述调研的基础上, 将选取的评价指标归纳为礼仪、设施、环境三大类, 每一大类下又细分具体项目, 覆盖车站服务的核心环节。礼仪类包括仪容仪表、服务态度和投诉建议, 直接关乎乘客的主观感受与服务体验; 设施类包括引导标识、便民设施和购票检票, 是车站功能性的体现, 影响乘客使用的便捷性; 环境类涵盖温湿照度、卫生清洁和乘降秩序, 是车站提供舒适乘车环境的基石。

考虑到客运强度差异, 在城村、仙店、东山埔站发放与回收的问卷较少。结合统计软件作信、效度检验。各车站的问卷发放、回收情况及信、效度检验结果见表 4。

表4 调查问卷发放、回收情况及信、效度检验结果

Tab.4 Distribution, recovery of questionnaire and reliability, validity test results

车站	发放数	回收数	有效数	发放回收率/%	回收有效率/%	克隆巴赫系数 (信度指标)	抽样适度测定值 (效度指标)
南平市高铁	256	249	243	97.3	97.6	0.827	0.893
城村	14	12	11	85.7	91.7	0.834	0.912
仙店	8	8	8	100	100	0.816	0.887
东山埔	15	15	14	100	93.3	0.833	0.894
南源岭	70	64	64	91.4	100	0.829	0.899
武夷山	145	142	140	97.9	98.6	0.818	0.904

由表4知,问卷的发放回收率及回收有效率均达到了85%以上,计算所得信、效度指标均大于

0.8,说明调查所得数据很可信,且较适用于因子分析。各车站各指标的评价价值量化结果见表5。

表5 各车站各指标评价值

Tab.5 Evaluation value of each index of each station

大类	指标	南平市高铁	城村	仙店	东山埔	南源岭
礼仪	仪容仪表	93	91	88	86	87
	服务态度	76	78	81	78	88
	投诉建议	91	93	86	87	79
设施	引导标识	89	94	87	81	93
	便民设施	92	94	86	83	81
	购票检票	88	84	87	92	78
环境	温湿照度	71	81	77	86	83
	卫生清洁	92	94	88	83	87
	乘降秩序	83	84	79	74	78

由于选取的指标均为主观指标,故采用5个等级,每个等级对应的评价区间见表6。

表6 等级与评价区间划分

Tab.6 Classification of grades and evaluation intervals

等级	值区间
很好	[90,100]
较好	[80,90)
中等	[70,80)
较差	[60,70)
很差	[0,60)

2.3 物元可拓模型构建

编程计算各车站各指标与各等级的关联度。以南平市高铁站为例,其各指标与各等级的关联度见表7。

表7 南平市高铁站各指标与各等级的关联度

Tab.7 Correlation degree between each index and each grade of Nanping Railway Station

	很好	较好	中等	较差	很差
仪容仪表	0.300 0	-0.300 0	-0.650 0	-0.766 7	-0.825 0
服务态度	-0.368 4	-0.142 9	0.400 0	-0.200 0	-0.400 0
投诉建议	0.100 0	-0.100 0	-0.550 0	-0.700 0	-0.775 0

续表

	很好	较好	中等	较差	很差
引导标识	-0.083 3	0.100 0	-0.450 0	-0.633 3	-0.725 0
便民设施	0.200 0	-0.200 0	-0.600 0	-0.733 3	-0.800 0
购票检票	-0.142 9	0.200 0	-0.400 0	-0.600 0	-0.700 0
温湿照度	-0.395 8	-0.236 8	0.100 0	-0.033 3	-0.275 0
卫生清洁	0.200 0	-0.200 0	-0.600 0	-0.733 3	-0.800 0
乘降秩序	-0.291 7	0.300 0	-0.150 0	-0.433 3	-0.575 0

2.4 评价指标赋权

采用权因子法,根据专家组对各大类、指标的评分,计算大类主观权及指标在大类内的主观权,并对应相乘得出指标主观权,见表 8。

表 8 指标主观权

Tab.8 Subjective weights of indexes

大类	大类主观权	指标	指标在大类内的主观权	指标主观权
礼仪	0.284	仪容仪表	0.289	0.082
		服务态度	0.418	0.119
		投诉建议	0.293	0.083
设施	0.244	引导标识	0.336	0.082
		便民设施	0.295	0.072
		购票检票	0.369	0.090
环境	0.472	温湿照度	0.356	0.168
		卫生清洁	0.325	0.153
		乘降秩序	0.319	0.151

采用熵权法,对各指标的熵、差异系数进行计算,得出指标客观权,见表 9。

将指标主、客观权求均值占比,得出指标综合权,见表 10。由表 10 知,乘降秩序、卫生清洁、温湿照度、服务态度指标对服务质量评价的影响较大,且四者的重要性依次减弱。

2.5 总关联度计算与评价等级确定

根据得出的关联度和综合权,编程计算各车站与各等级的总关联度,见表 11。最终确定的评价等级以下划线表示。由表 11 知,城村站的等级为“很好”,说明整体服务质量已达较高水平,可尝试服务模式创新,引入智能化、信息化手段,并

进一步细化服务标准和流程;南平市高铁、仙店、东山埔、南源岭站的等级为“较好”,说明整体服务质量处于中上水平,可对照服务标准和质量评价体系,找出服务过程中的短板和不足,例如加强对员工的培训和教育,对服务设施进行升级改造;武夷山站的等级为“中等”,说明整体服务质量存在较多问题,应全面排查投诉建议、购票检票、乘降秩序等环节,制定切实可行的整改方案,明确责任人和时间节点,加强对服务过程的监管和检查,并建立有效的乘客反馈机制,及时收集和處理乘客的意见和建议。

表 9 指标客观权

Tab.9 Objective weights of indexes

指标	熵	差异性系数	指标客观权
仪容仪表	0.818	0.182	0.092
服务态度	0.739	0.261	0.132
投诉建议	0.816	0.184	0.093
引导标识	0.788	0.212	0.107
便民设施	0.852	0.148	0.075
购票检票	0.767	0.233	0.118
温湿照度	0.792	0.208	0.105
卫生清洁	0.737	0.263	0.133
乘降秩序	0.716	0.284	0.145

表 10 指标综合权

Tab.10 Objective weights of indexes

指标	指标综合权
仪容仪表	0.086
服务态度	0.126
投诉建议	0.087
引导标识	0.094
便民设施	0.074
购票检票	0.104
温湿照度	0.139
卫生清洁	0.143
乘降秩序	0.147

本研究评价方法在武夷有轨电车车站的服务质量横向评价中得到成功应用。通过对各车站的

问卷调查和数据分析,构建评价指标体系,并计算各车站与各等级的总关联度,最终确定各车站的服务质量等级。

表 11 各车站与各等级的总关联度

Tab.11 Total correlation degree of each station and

each grade

	很好	较好	中等	较差	很差
南平市 高铁	-0.089 1	<u>-0.054 5</u>	-0.275 6	-0.501 4	-0.626 1
城村	<u>0.001 5</u>	-0.055 3	-0.353 5	-0.577 4	-0.683 0
仙店	-0.246 8	<u>0.159 5</u>	-0.159 1	-0.458 2	-0.593 7
东山埔	-0.239 5	<u>0.131 7</u>	-0.113 6	-0.427 3	-0.570 5
南源岭	-0.215 6	<u>0.089 9</u>	-0.157 3	-0.457 8	-0.593 4
武夷山	-0.267 3	-0.027 6	<u>0.050 9</u>	-0.343 2	-0.507 4

2.6 与现有评价方法的对比

以层次分析法为例,对于每一层级的评价指标,构造判断矩阵,根据专家打分计算各指标的权重,结合各车站各指标评价值,可得各车站的总评价值与等级,见表 12。该评价结果与采用本研究评价结果存在偏差,究其原因,层次分析法在构建递阶层次结构和进行两两比较时,专家的经验

观点起着决定性作用,导致评价结果受个人偏见或主观意愿影响,无法由客观权进行调整。

表 12 由层次分析法得到的各车站总评价值与等级

Tab.12 Total evaluation value and grade of each station obtained by AHP

车站	总评价值	等级
南平市高铁	84.602	较好
城村	86.867	较好
仙店	83.478	较好
东山埔	82.774	较好
南源岭	83.674	较好
武夷山	72.864	中等

又如模糊综合评价法,由于指标集合较大,指标个数较多,将出现超模糊现象,即在权向量和为单位的条件约束下,相对隶属度权系数往往偏小,权向量与模糊矩阵不匹配,导致分辨率很差,无法区分谁的隶属度更高,导致评价失败。

本研究所提评价方法能对应弥补上述局限,有效反映各对象的服务质量差异,并通过量化分析,直观呈现影响服务质量的关键因素,为服务质量的改善和提升提供科学依据,其与现有方法的效果对比见表 13。

表 13 本研究方法与现有方法的对比

Tab.13 Comparison between proposed method and existing methods

现有方法	局限	本研究方法对应的优势
层次分析法	指标赋权主观性较强	采用主客观综合赋权减小主观因素影响
模糊综合评价法	处理多指标、多层次问题时出现超模糊,分辨率低	步骤清晰,公式简洁,结果明确
数据包络分析法	对具模糊性和不确定性的服务质量评价适用性较差	物元可拓理论适用于模糊性和不确定性问题
神经网络法	需大量训练样本,训练过程易陷入局部最优,解释性较差	无需训练样本,物元模型和可拓关联函数具较强解释性
SERVQUAL 模型	主要关注服务质量的 5 个维度,不全面	可全面考虑、按需选取服务质量的各方面指标

3 结论

针对当前城市轨道交通服务质量评价多从行业规范出发,或仅有单一评价对象,无法直观反映各对象的服务质量差异,也无法直接归纳影响服

务质量的关键因素等问题,本研究提出基于物元可拓理论的城市轨道交通服务质量横向评价方法。首先选取评价指标并分级,对主观指标收集并检验乘客样本评价值,构建评价指标体系。接着以矩阵与元胞数组描述评价问题,并计算各对

象各指标与各等级的关联度,构建物元可拓模型。此后,分别采用权因子法和熵权法计算各指标的主、客观权,并计算综合权。最后结合关联度与综合权计算各对象与各等级的总关联度,并得出评价等级。采用该方法,以武夷有轨电车车站为例作服务质量横向评价,并根据评价结果,提出针对

性的改进建议和措施。

本研究不仅有助于丰富和完善轨道交通服务质量评价理论体系,还可为行业主管部门和运营管理企业提供实用的评价工具和方法,推动城市轨道交通行业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 何静,张夕阳,李延欢,等. 基于乘客需求的城市轨道交通服务质量评价研究[J]. 城市轨道交通研究,2024,27(4): 67-73,79.
- [2] 陈维亚,晏秀娟,潘晖,等. 城市轨道交通服务质量监管评价研究[J]. 铁道科学与工程学报,2018,15(12): 3288-3294.
- [3] 谷素斐,张红云. 城市轨道交通客运服务质量综合评价应用研究[J]. 都市快轨交通,2020,33(4): 123-128.
- [4] 刘志钢,吴强,朱海燕,等. 基于 ECR 模型的城市轨道交通服务质量评价研究[J]. 铁道运输与经济,2008,30(11): 54-58.
- [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): 49-52,57.
- [6] 尹聪聪,蒲琪,李素莹. 基于乘客感知的城市轨道交通客运服务质量评价指标研究[J]. 城市轨道交通研究,2014,17(6): 78-83,89.
- [7] 尹聪聪,蒲琪,吴妍燕,等. 城市轨道交通客运服务质量评价[J]. 城市轨道交通研究,2015,18(6): 16-20,35.
- [8] 林立,季广港,汤霖. 城市轨道交通运营服务质量评价研究[J]. 铁道运输与经济,2020,42(12): 111-116.
- [9] 何锋,胡少华,章光,等. 基于物元理论的综合管廊下穿河流盾构施工风险评价[J]. 水电能源科学,2023,41(7): 154-157,136.
- [10] 付晓莉,聂丽梅,杨树峰,等. 基于可拓学的平衡训练仪感性设计研究[J]. 机械设计与研究,2022,38(4): 186-191.
- [11] 周洪文,冯鑫淼,王宏,等. 基于物元可拓组合模型的高速公路道路安全风险评价[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2024,43(4): 37-44.
- [12] 梅梦磊,菅永坤. 变权物元可拓模型下舟山水域通航风险评估[J]. 计算机仿真,2023,40(12): 28-32.
- [13] 唐炜,陈坚. 基于结构方程模型的城市轨道交通服务质量影响变量因子分析模型[J]. 城市轨道交通研究,2024,27(8): 90-94.
- [14] 蔡科. 城市轨道交通服务质量多元评价方法研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2023.
- [15] 唐煜,姚佼,吕明浩,等. 基于层次分析法的城市轨道交通旅客服务质量评价[J]. 中国水运:下半月,2018,18(4): 55-58,63.
- [16] 李志华,曾慧毅,聂超,等. 一种优化迭代权因子的组合代理模型构建方法[J]. 农业机械学报,2016,47(7): 391-397.
- [17] 林莉,郑平,朱明灿. 基于熵权法的信息化与我国轨道交通装备制造企业融合的实证分析[J]. 城市轨道交通研究,2014,17(12): 29-32,38.
- [18] 邱海波. 武夷新区有轨电车仙店车辆段车辆加砂设施设计方案[J]. 城市轨道交通研究,2020,23(10): 171-173.

(责任编辑:方素华)