

# 基于乘客需求的城市轨道交通服务质量评价研究<sup>\*</sup>

何 静<sup>1</sup> 张夕阳<sup>1</sup> 李延欢<sup>2</sup> 李腾江<sup>3</sup>

(1. 昆明理工大学交通工程学院, 650500, 昆明; 2. 红河职业技术学院, 661100, 红河;

3. 昆明地铁运营有限公司, 650032, 昆明)

**摘 要** [目的] 基于乘客需求对城市轨道交通服务质量进行评价, 不仅能推动服务质量提升, 提高乘客的出行满意度, 而且有利于提升城市轨道交通运营企业的经济效益和社会效益。[方法] 引入 QFD (质量功能展开) 理论获取乘客需求数据, 进行识别、归类及筛选, 凝练为评价指标, 构建基于乘客需求的城市轨道交通服务质量评价指标体系; 运用 AHP (层次分析法) 和熵权法计算各指标组合权重, 通过云模型得出城市轨道交通服务质量的综合评价结果; 引入 IPA (重要度-绩效分析法) 对评价结果进行深入研究, 进一步挖掘各评价指标对整体服务质量的影响优先级。以昆明地铁首期工程为例, 依据实际调查数据, 通过云模型得出该线路的最终服务质量评价结果并进行 IPA 分析。[结果及结论] 昆明地铁首期工程的服务质量评价结果为比较满意, 与该项目实际调研结论相符, 证明了基于乘客需求的城市轨道交通服务质量评价方法的有效性。对该实例评价结果进行 IPA 分析后, 提出了提升昆明地铁首期工程服务质量的具体策略: 协调换乘, 增加发车频次, 根据天气及时调整通风。

**关键词** 城市轨道交通; 乘客需求; 服务质量评价; 质量功能展开; 组合赋权法

**中图分类号** F530.7

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2024.04.013

## Research on Urban Rail Transit Service Quality Evaluation Based on Passenger Demand

HE Jing<sup>1</sup>, ZHANG Xiyang<sup>1</sup>, LI Yanhuan<sup>2</sup>, LI Tengjiang<sup>3</sup>

(1. Faculty of Transportation Engineering, Kunming University of Science and Technology, 650500, Kunming, China; 2. Honghe Vocational and Technical College, 661100, Honghe, China; 3. Kunming Metro Operations Co., Ltd., 650032, Kunming, China)

**Abstract** [Objective] Evaluation of urban rail transit service quality based on passenger demand not only promotes service quality improvement and enhances passenger satisfaction with travel, but also contributes to economic and social benefits of urban rail transit operating enterprises. [Method] The QFD

(quality function deployment) theory is introduced to obtain passenger demand data, which are identified, classified, filtered and refined into evaluation indicators. A quality evaluation index system for urban rail transit service based on passenger demand is constructed. Using AHP (analytic hierarchy process) and entropy weight method to calculate the weight of each indicator combination, and using a cloud model to obtain the comprehensive evaluation results of urban rail transit service quality. The IPA (importance-performance analysis) is introduced to conduct in-depth research on the evaluation results, further exploring the priority of the impact of each evaluation indicator on the overall service quality. Taking the first phase of the Kunming Metro project as an example, based on actual survey data, the final service quality evaluation results of the line are obtained through cloud model and analyzed using IPA.

[Result & Conclusion] The service quality evaluation results of the first phase of Kunming Metro project are relatively satisfactory, consistent with the actual research conclusion of the project, demonstrating the effectiveness of the urban rail transit service quality evaluation method based on passenger demand. After conducting IPA analysis on the evaluation results of this example, specific strategies for improving the service quality of the first phase of Kunming Metro project are proposed: coordinating interchange, increasing the frequency of departure, and timely adjusting ventilation based on weather conditions.

**Key words** urban rail transit; passenger demand; service quality evaluation; quality function deployment; composite weighting method

运营服务质量是市民选择城市轨道交通出行的重要因素。国内外学者针对城市轨道交通服务质量评价也做了大量研究。文献[1]从设备、环境、人员、投诉等方面建立了评价指标体系; 文献[2]从乘客感知出发, 依据城市轨道交通客运工作内容, 结合已有文献对比筛选得到了评价指标体系; 文献[3]

<sup>\*</sup> 云南省交通运输厅科技创新及示范项目(云交科教便[2022]18号)

以顾客满意理论为基础构建了服务质量评价指标体系;文献[4]根据城市轨道交通的服务价值建立了城市轨道交通服务质量评价指标体系;文献[5]直接采用规范中的指标进行评价;文献[6]根据城市轨道交通服务特点构建了评价指标体系。上述研究多侧重于依据国家、地方的规范或行业惯例进行评价指标的选取,较少考虑乘客的真实需求。

基于乘客需求对城市轨道交通服务质量进行评价,在提升运营服务质量的同时,也能够提高城市轨道交通运营企业的经济效益和社会效益。本文结合上述研究成果,运用 QFD(质量功能展开)理论获取乘客最关心且能真实反映城市轨道交通服务水平的乘客需求,运用 AHP(层次分析法)和熵权法进行组合赋权,同时结合云模型理论,以云图的形式将评价结果展示出来,并引入 IPA(重要度-绩效分析法)模型对评价结果进行分析探索。最后以昆明地铁首期工程为研究实例,得到综合评价结果,根据 IPA 模型评价结果提出针对性的策略。

## 1 评价指标体系构建

构建基于乘客需求的城市轨道交通服务质量评

价指标体系既要符合乘客的需求感知,又要符合国家及地方的政策以及行业规范要求。本研究结合交通运输部颁布的《城市轨道交通服务质量评价规范》(交办运[2019]43 号),将乘客的出行过程细分为进出站、环境秩序、设施可靠、出行便捷、人员服务等 8 个维度。

运用 QFD 理论从乘客感知出发,探求乘客需求,通过实地调研获取乘客对城市轨道交通服务的真正需求,最后运用德菲尔法对初始的乘客需求进行筛选和凝练并总结为初始的评价指标。这一方法很好地避免了以往研究人员通过文献总结或者是个人经验选取指标的不足,同时通过专家的进一步筛选可以排除部分乘客问卷的特例情况,更加突显乘客需求的核心问题。

由于不同乘客针对同一需求表达不同,不同乘客由于个体的差异性对城市轨道交通的需求也不尽相同,本文收集了 200 份乘客需求调查问卷,统计分析乘客需求,抽象概括乘客需求类别,并将乘客需求分别归类至各个维度下,初始确定的乘客需求指标共有 30 个,如表 1 所示。

表 1 初始乘客需求指标

Tab. 1 Initial passenger demand indicators

一级指标	二级指标	一级指标	二级指标
进出站 $S_1$	闸机数量及布局合理性 $S_{11}$	人员服务 $S_5$	工作人员服务态度 $S_{51}$
	检票便捷性 $S_{12}$		工作人员服务专业性 $S_{52}$
	移动支付进站指引 $S_{13}$		工作人员服务效率 $S_{53}$
	地铁运营相关信息的宣传 $S_{14}$	出行安全 $S_6$	车内、站内治安环境 $S_{61}$
环境秩序 $S_2$	站内环境整洁性 $S_{21}$		列车运行平稳性 $S_{62}$
	站内空气流通与温度 $S_{22}$		楼梯、电扶梯是否安全运行 $S_{63}$
	站台排队候车秩序 $S_{23}$		车内、站内安全提醒 $S_{64}$
	车厢内拥挤程度 $S_{24}$	经济方便 $S_7$	地铁票价设置合理性 $S_{71}$
设施可靠 $S_3$	无障碍电梯运行可靠性 $S_{31}$		自助售票机使用便捷性 $S_{72}$
	站内显示屏信息显示准确性 $S_{32}$		电子移动支付使用便捷性 $S_{73}$
	车内显示屏信息显示准确性 $S_{33}$	投诉响应 $S_8$	投诉处理 $S_{81}$
	列车运行间隔 $S_{34}$		投诉渠道 $S_{82}$
出行便捷 $S_4$	闸机、安检运行可靠性 $S_{35}$		投诉结果 $S_{83}$
	站内、站外标志、标识是否清晰明了 $S_{41}$		
	换乘便捷性 $S_{42}$		
	与其他交通方式接驳方便性 $S_{43}$		
	换乘秩序 $S_{44}$		

得到初始指标后,本文借鉴李克特量表分析法,对乘客需求初始意见进行评价,分别设置“非常重要、比较重要、重要、比较不重要、非常不重要”等 5 个程度选项,并依次以“5 分、4 分、3 分、2

分、1 分”等 5 个分值计分。然后选取 7 位长期从事城市轨道交通运营管理或者具备丰富理论研究的专家作为问卷评分人,请各位专家根据经验,按照对城市轨道交通服务安全性、可靠性、便捷性和

舒适性等 4 个影响因素的影响程度对初始乘客需求指标进行打分,分值取值范围为 0~100 分,分值越高重要程度越高。

本文利用  $S_Y$ (综合重要度)来分析初始乘客需求指标对城市轨道交通服务质量的影响程度。综合重要度是安全性、可靠性、便捷性和舒适性的加权平均值。具体计算公式为:

$$S_Y = \&_1 S_E + \&_2 R_E + \&_3 S_P + \&_4 C_E \quad (1)$$

式中:

$S_E$ ——安全性;

$R_E$ ——可靠性;

$S_P$ ——便捷性;

$C_E$ ——舒适性;

$\&_i(i=1,2,3,4)$ ——安全性、可靠性、便捷性和舒适性的权重。

$\&_i$  的计算公式为:

$$\&_i = \frac{\bar{A}_{ik}}{100} \quad (2)$$

$$i = 1, 2, 3, 4; k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$$

式中:

$\bar{A}_{ik}$ —— $k$  个专家对第  $i$  个指标打分结果的平均值;

$A_{ik}$ ——第  $k$  个专家对第  $i$  个指标打分结果。

根据专家对各影响因素打分情况进行统计排列,权重统计结果如表 2 所示。

表 2 各影响因素的专家打分及权重

Tab. 2 Scores by specialist evaluation and weights of various influencing factors

影响因素	专家打分/分							权重
	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	专家 7	
安全性	30	10	50	40	20	20	40	0.30
可靠性	20	30	20	20	30	30	30	0.23
便捷性	30	30	10	20	20	30	10	0.27
舒适性	20	30	10	20	20	30	10	0.20

然后,本文向城市轨道交通从业人员、行业监管部门以及行业专家学者发放调查问卷,邀请其对初始指标进行重要性对比。之后对各个指标的重要性得分进行统计,根据统计结果发现, $S_Y$  值高于 3 的评价指标与城市轨道交通服务质量密切相关,因此剔除低于 3 分的评价指标,最终确定了基于乘客需求的城市轨道交通服务质量评价指标体系,分为 8 个一级指标和 22 个二级指标,具体结果如表 3 所示。

表 3 基于乘客需求的城市轨道交通服务质量评价指标体系

Tab. 3 Evaluation index system of urban rail transit service quality based on passenger demand

一级指标	二级指标	指标说明
进出站 $S_1$	闸机数量及布局合理性 $S_{11}$	闸机数量以及布局设置合理
	检票便捷性 $S_{12}$	检票方便快捷
环境秩序 $S_2$	站内环境整洁性 $S_{21}$	车站内环境整洁程度
	站内空气流通与温度 $S_{22}$	车站内空气流通性和温度舒适性
	站台排队候车秩序 $S_{23}$	站台乘客候车排队的秩序是否良好有序
	车厢内拥挤程度 $S_{24}$	车厢内乘车的拥挤程度
设施可靠 $S_3$	无障碍电梯运行可靠度 $S_{31}$	无障碍电梯运行过程的可靠程度
	站内显示屏信息提示 $S_{32}$	站内显示屏信息提示准确性
	列车运行间隔 $S_{33}$	列车运行间隔合理
出行便捷 $S_4$	站内外标志、标识是否清晰明了 $S_{41}$	站内外标志、标识是否清晰明了
	换乘便捷性 $S_{42}$	换乘方便快捷
	与其他交通方式接驳方便性 $S_{43}$	换乘其他交通方式是否方便快捷
人员服务 $S_5$	工作人员服务专业性 $S_{51}$	车站工作人员的服务专业性
	工作人员服务效率 $S_{52}$	车站工作人员服务效率
出行安全 $S_6$	车内、站内治安环境 $S_{61}$	车内、站内治安环境良好
	列车运行平稳性 $S_{62}$	列车运行过程中安全平稳
	楼梯、电扶梯是否安全运行 $S_{63}$	楼梯、电扶梯运行安全性
经济便捷 $S_7$	地铁票价设置合理 $S_{71}$	地铁票价设置是否合理可接受
	自助售票机使用便捷性 $S_{72}$	使用自助售票机是否方便快捷
	电子移动支付使用便捷性 $S_{73}$	使用电子移动支付使用方便快捷
投诉响应 $S_8$	投诉处理 $S_{81}$	乘客投诉之后得到处理的效率高
	投诉渠道 $S_{82}$	投诉渠道是否方便多样

## 2 评价指标赋权

通过对乘客出行需求进行探索筛选得到如表 3 所示的评价指标体系。城市轨道交通服务质量评价指标体系包含了多个维度的多项指标,各评价指标的影响程度也不尽相同,进行科学的赋权很有必要。目前在进行服务质量评价中确定指标权重的方法主要有两种:一种是运用层次分析法<sup>[7-8]</sup>、模糊综合评价法<sup>[9]</sup>、主成分分析法<sup>[10]</sup>等主观赋权方法,这种评价方法多根据人为评判,难以客观反映评价的真实情况和内容;另一种是引入了客观赋权法或组合赋权法来确定指标权重。组合赋权法兼顾了人为主观意识和客观失真性,能够提高权重计算结果的准确性。因此,本文选取 AHP 确定指标的主观权重,又利用熵权法进行客观赋权,并通过线性加权法确定指标的组合同权重。

选用 AHP 进行主观赋权,首先将与决策有关的指标分解到各个层级上,然后在此基础上进行定性定量分析;通过对各指标的重要度讨论得到相应的判断矩阵  $M$ ,然后进行一致性检验,通过之后计算各层的相对权重,得到主观赋权的权重向量  $H' = [H'_1 H'_2 \cdots H'_n]$ 。

客观赋权选用的是熵权法,根据各指标的离散程度,利用信息熵计算各指标的熵,得到的客观权重向量  $H'' = [H''_1 H''_2 \cdots H''_n]$ 。

为了使评价结果更加具有科学性、合理性,同时兼顾主客观权重的信息,本文运用线性加权法进行组合赋权,得到组合权重向量  $H = [H_1 H_2 \cdots H_n]$ ,计算公式为:

$$H = \alpha H' + \beta H'' \quad (3)$$

式中:

$\alpha, \beta$ ——主、客观权重系数。

为了减少主观随意性,选取差异系数法进行  $\alpha, \beta$  的确定求解,计算公式为:

$$\begin{cases} \alpha = \frac{n}{n-1} \left( \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n i P_i - \frac{n+1}{n} \right) \\ \beta = 1 - \alpha \end{cases} \quad (4)$$

式中:

$n$ ——评价指标数;

$P_i$ ——主观权重向量中按从小到大排序后所得的对应分量。

## 3 评价模型

城市轨道交通服务质量评价是一个多属性和多

标准的决策性问题,而评价指标之间存在模糊性和随机性,单纯使用计算加权的方法来判断服务质量存在一定的局限性。本文根据云模型原理,将服务质量评价指标体系作为论域,将每位乘客对服务质量的评价作为云滴,以所有乘客对评价指标综合评价结果所形成的云团整体特征来反映城市轨道交通服务质量评价。云模型通过期望  $E_q$ 、熵  $E_w$  和超熵  $H_e$  3 个特征值,将事物自身的随机性和模糊性结合起来,弥补了传统评价方法的不足。云模型的特征值  $E_x$  表示云滴在论域分布的中心值,  $E_q$  表示云图上云滴的离散程度,反映了评价过程中数据采集的随机性,  $H_e$  为熵的不确定性度量,体现了概念被普遍接受的程度,接受程度越高超熵的值越小,反之则越大。

### 3.1 云模型数字特征值计算

本文运用逆向云发生器法,将数据转化为云的数字特征  $(E_q, E_w, H_e)$  表示的定性概念,进而形成正态云。计算公式为:

$$\begin{cases} E_q = \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j \\ E_w = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |x_j - \bar{X}| \\ H_e = \sqrt{S^2 - E_n^2} \end{cases} \quad (5)$$

式中:

$\bar{X}$ ——样本值平均值;

$x_j$ ——样本  $j$  的值;

$N$ ——样本量;

$S^2$ ——样本方差。

### 3.2 确定标准云及结果云

通过构建云图可以比较直观地展现出综合评价结果。使用正向云发生器算法得出评价标准云,运用逆向云发生器算法确定评价结果云。计算过程如下:

#### 1) 确定标准云。

(1) 确定评价集。依据文献及专家意见,用非常不满意、比较不满意、一般、比较满意、非常满意等 5 个等级来进行服务质量评价的等级划分,  $l$  为等级数,评价集  $Y$  的表示形式为:

$$Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_l\} \quad (6)$$

式中:

$Y_l$ ——对应第  $l$  个等级的满意度定性评语。

(2) 生成标准云图。将服务质量评价等级分类的界限作为一个双边约束区间  $[t_{\min}, t_{\max}]$  (其中,  $t_{\min}, t_{\max}$  为定性评语的下限和上限),根据区间等级



划分和云模型计算出云模型的数字特征参数,计算公式为:

$$\begin{cases} E_q = \frac{t_{\max} + t_{\min}}{2} \\ E_w = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{6} \\ H_e = r \end{cases} \quad (7)$$

式中:

$r$ ——根据模糊程度确定的常数,通常取值为0.1。

## 2) 确定结果云。

(1) 根据调查数据,通过线性加权法计算组合权重集  $H$ 。

(2) 使用逆向云发生器法,生成指标集对应的云特征参数矩阵,计算公式为:

$$M = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{q_1} & E_{w_1} & H_{e_1} \\ E_{q_2} & E_{w_2} & H_{e_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ E_{q_m} & E_{w_m} & H_{e_m} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中:

$d_m$ ——第  $m$  个指标云模型数字特征;

$E_{q_m}$ ——第  $m$  个指标的期望;

$E_{w_m}$ ——第  $m$  个指标的熵;

$H_{e_m}$ ——第  $m$  个指标的超熵。

(3) 确定评价结果云。基于乘客需求的城市轨道交通服务质量评价结果云模型计算公式为:

$$Z = HM \quad (9)$$

式中:

$Z$ ——综合评价结果云参数。

## 4 实例分析

本文以昆明地铁首期工程为研究对象,该线是连接昆明主城区和呈贡新区的骨干线路,在线网中运营时间最长、日均客流量最大。采用李克特五级量表法编制调查问卷。

### 4.1 问卷描述与数据检验

调查问卷由乘客的基本信息和服务质量评价指标体系两部分构成。通过线上与线下相结合的方式调研,调研时间为2022年6月。调查问卷共发放365份,得到有效问卷335份,有效问卷回收率为91.8%,满足社会学调查有效问卷回收率要求。

运用 SPSS 24.0 软件对有效问卷进行信效度检验, Cronbach'Alpha 信度系数为0.786,各个维度信度系数也均接近0.800,效度检验的 KMO(检验统计量)值为0.816,且显著性系数小于0.01。信效度检验结果表明,调查问卷具有良好的可靠性与有效性。

### 4.2 评价指标权重确定

通过 Matlab 软件编程运用 AHP 和熵权法计算出各评价指标的主、客观权重  $H'$  和  $H''$ ;通过式(4)计算出组合权重的系数  $\alpha = 0.43$ 、 $\beta = 0.57$ ;根据式(3)最终得出各指标的组合权重  $H$ 。具体权重数据见表4,不同赋权法下的各指标权重如图1所示。

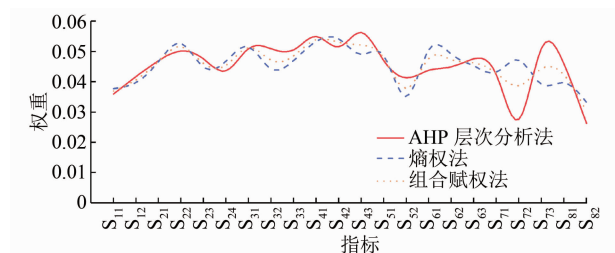


图1 不同赋权方法下的指标权重计算结果对比图

Fig. 1 Comparison diagram of indicator weight calculation results under different weighting methods

由图1可知,不同赋权方法计算的各指标权重变化的大致趋势一致。线性加权法得到的组合权重能够对 AHP 和熵权法计算结果进行有效修正,组合权重分布均介于 AHP 和熵权法所得权重值之间,使得指标权重分布更加合理,为准确评价城市轨道交通服务质量提供了有力的依据。

### 4.3 确定标准云及结果云

根据正向云发生器法,计算出各等级对应的满意度等级界限的标准云模型参数。乘客满意度各评价指标等级界限划分及标准云模型参数如表5所示。运用 Matlab 软件,模拟出评价指标等级标准云图如图2所示。

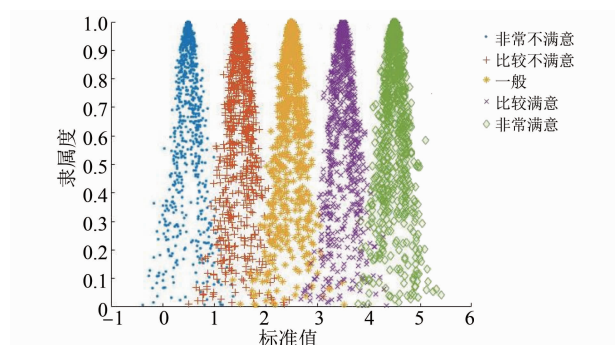


图2 评价等级标准云图

Fig. 2 Nephogram of evaluation level standards

表 4 各评价指标权重

Tab. 4 Weights of various evaluation indicators

一级指标	指标权重	二级指标	AHP 权重	熵权法权重	组合权重
进出站 $S_1$	0.077 7	闸机数量及布局合理性 $S_{11}$	0.036 0	0.037 8	0.037 0
		检票便捷性 $S_{12}$	0.041 8	0.039 8	0.040 7
环境秩序 $S_2$	0.190 0	站内环境整洁性 $S_{21}$	0.047 0	0.046 7	0.046 8
		站内空气流通与温度 $S_{22}$	0.050 2	0.052 7	0.051 6
		站台排队候车秩序 $S_{23}$	0.047 6	0.044 9	0.046 1
		车厢内拥挤程度 $S_{24}$	0.043 7	0.046 9	0.045 5
设施可靠 $S_3$	0.147 1	无障碍电梯运行可靠性 $S_{31}$	0.051 0	0.051 5	0.051 3
		站内显示屏信息提示 $S_{32}$	0.051 0	0.044 3	0.047 2
		列车运行间隔 $S_{33}$	0.050 6	0.047 1	0.048 6
出行便捷 $S_4$	0.159 3	站内外标志、标识是否清晰明了 $S_{41}$	0.055 0	0.053 3	0.054 0
		换乘便捷性 $S_{42}$	0.051 6	0.054 2	0.053 1
		与其他交通方式接驳方便性 $S_{43}$	0.056 3	0.049 1	0.052 2
人员服务 $S_5$	0.085 8	工作人员服务专业性 $S_{51}$	0.047 0	0.048 6	0.047 9
		工作人员服务效率 $S_{52}$	0.041 4	0.035 2	0.037 9
出行安全 $S_6$	0.141 4	车内、站内治安环境 $S_{61}$	0.043 8	0.050 6	0.047 7
		列车运行平稳性 $S_{62}$	0.045 0	0.049 2	0.047 4
		楼梯、电扶梯是否安全运行 $S_{63}$	0.047 6	0.045 3	0.046 3
经济方便 $S_7$	0.126 1	地铁票价设置合理 $S_{71}$	0.042 4	0.043 3	0.042 9
		自助售票机使用便捷性 $S_{72}$	0.027 6	0.047 2	0.038 8
		电子移动支付使用便捷性 $S_{73}$	0.051 1	0.039 3	0.044 4
投诉响应 $S_8$	0.072 7	投诉处理 $S_{81}$	0.046 0	0.039 7	0.042 4
		投诉渠道 $S_{82}$	0.026 3	0.033 4	0.030 3

表 5 评价指标等级限界划分及标准云模型参数

Tab. 5 Classification of evaluation indicator levels and standard cloud model parameters

评价指标等级	等级界限	标准云参数
非常不满意	[0,1)	(0.5,0.17,0.1)
比较不满意	[1,2)	(1.5,0.17,0.1)
一般	[2,3)	(2.5,0.17,0.1)
比较满意	[3,4)	(3.5,0.17,0.1)
非常满意	[4,5]	(4.5,0.17,0.1)

运用逆向云发生器法,生成指标集的对云参数矩阵  $M$ ,同时结合组合赋权法得到各指标权重参数  $H$ ,根据式(9)进行计算,得出昆明地铁首期工程服务质量综合评价结果云参数为(3.14, 0.35, 0.067 1),生成综合评价云图如图 3 所示。综合评价结果云期望值  $E_q = 3.14$ ,结果云位于“一般”与“比较满意”标准云之间,且较为偏向“比较满意”的标准云,由此可以得出基于乘客需求的昆明地铁首期工程城市轨道交通服务质量评价结果为比较满意,这与实际项目调研得到的结论相符,证明了该评价结果的有效性。此外综合评价结果云的熵值  $E_w$  略大于标准云,反映出不同乘客群体对于昆明地铁首期工程服务质量评价认知存在一定的差异性。

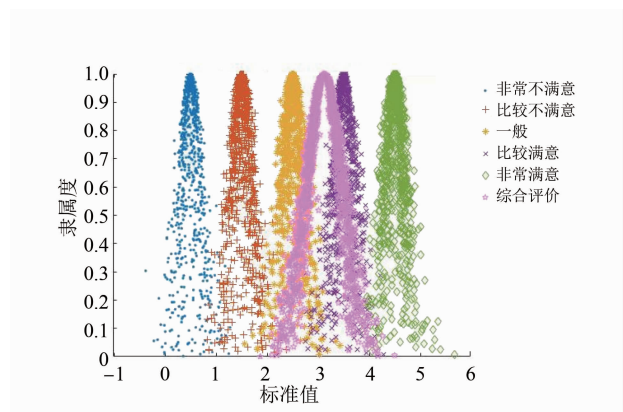


图 3 综合评价云图

Fig. 3 Nephogram of comprehensive evaluation

#### 4.4 IPA 分析

将组合权重和满意度评价结果结合起来,得到重要性-满意度结果,使用 IPA 分析法进行分析,可确定评价指标满意度提升的优先级。本文以满意度评价指标体系中指标的组合权重值的平均值 0.045 作为  $x$  轴分割点,以指标的期望的平均值 3.10 作为  $y$  轴分割点,将城市轨道交通服务质量评价指标的重要性-满意度分别反映在四分图中,如图 4 所示。由图 4 能直观地找出目前昆明地铁首期工程及支线服务质量的竞争优劣区和需改进的先后部分。

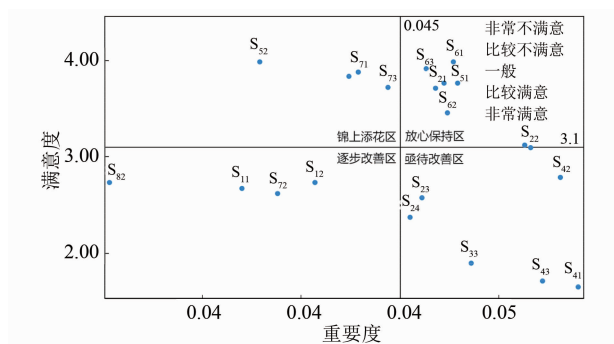


图4 服务质量评价 IPA 分析

Fig. 4 Service quality evaluation IPA analysis

通过观察评价指标在四分图中的分布情况可知:指标  $S_{42}$ 、 $S_{22}$ 、 $S_{23}$ 、 $S_{24}$ 、 $S_{33}$ 、 $S_{43}$ 、 $S_{41}$  位于第四象限亟待改善区,表示这些指标对服务质量评价结果影响较大,同时得分不高,需要重点关注上述指标并优先进行改善;提示城市轨道交通运营单位应注重换乘衔接的便捷性,增加发车频次,根据天气、季节及时调整站内的空气流通与温度;另外,可以向相关部门反映统一协调优化城市轨道交通与其他交通方式的衔接问题。分布在第三象限逐步改善区的指标得分较低,但对评价结果影响较小,可以逐步进行改善。位于第一象限放心保持区和第二象限锦上添花区的指标属于优势指标,需要继续保持。

## 5 结语

1) 引入 QFD 理论,通过覆盖乘客乘坐城市轨道交通全过程的调研获取乘客的真正需求,并运用德菲尔法对初始的乘客需求进行筛选,最终归类得出相应的评价指标,构建评价指标体系,使评价结果更加贴近现实。

2) 通过 AHP 主观赋权和熵权法客观赋权,运用线性加权法组合赋权,确定各个指标的组合权重,借助云模型以云图形式将城市轨道交通服务质量的综合评价结果进行直观呈现。

3) 引入 IPA 分析法对评价结果进行深入研究,进一步挖掘各评价指标对整体服务质量的影响优先级。将评价结果根据放心保持区、锦上添花区、逐步改善区和亟待改善区四个象限进行分类,针对不同象限的指标提出相应的建议。与以往多数研究者只是通过模型得出评价结果相比,本文对评价结果进行了进一步的探索分析。

4) 本文以昆明地铁首期工程为例,依据实际调

查数据,通过云模型求解得出该线路的最终评价结果为比较满意,经 IPA 分析提出了提升服务质量的具体策略:协调换乘,增加发车频次,根据天气及时调整通风。

## 参考文献

- [1] 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.  
GU Sufei, ZHANG Hongyun. Comprehensive evaluation of urban rail transit passenger service quality[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(4): 123.
- [2] 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.
- [3] 钱雅倩.基于乘客满意度的城市轨道交通车站服务质量评价研究[J].城市轨道交通研究,2017,20(7):86.  
QIAN Yaqian. Service quality improvement of urban rail transit station based on passenger satisfaction[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(7): 86.
- [4] 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.  
LIN Li, JI Guanggang, TANG Lin. Evaluation of urban rail transit operation service quality[J]. Railway Transport and Economy, 2020, 42(12): 111.
- [5] 唐晓贞.苏州轨道交通服务质量评价结果分析与服务质量提升措施[J].城市轨道交通研究,2022,25(5):50.  
TANG Xiaozhen. Evaluation result analysis and improvement measures of Suzhou Rail Transit service quality[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(5): 50.
- [6] 刘玉玲.基于模糊熵法和 TOPSIS 的服务质量评价方法研究:以城市轨道交通为例[J].大众标准化,2019(12):63.  
LIU Yuling. Research on service quality evaluation method based on fuzzy entropy method and TOPSIS—taking urban rail transit as an example[J]. Popular Standardization, 2019(12): 63.
- [7] 温惠英,吴璐帆,梅家骏.基于改进 AHP 法的广佛城际公交满意度模糊综合评价[J].中山大学学报(自然科学版),2018,57(5):64.  
WEN Huiying, WU Lufan, MEI Jiajun. Fuzzy comprehensive evaluation of Guangzhou-Foshan public transit satisfaction of intercity based on improved AHP method[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2018, 57(5): 64.
- [8] 张璟.苏州市轨道交通公共服务满意度测评研究[D].昆明:云南财经大学,2020.  
ZHANG Jing. Research on satisfaction evaluation of Suzhou Rail Transit public service[D]. Kunming: Yunnan University of Finance and Economics, 2020.

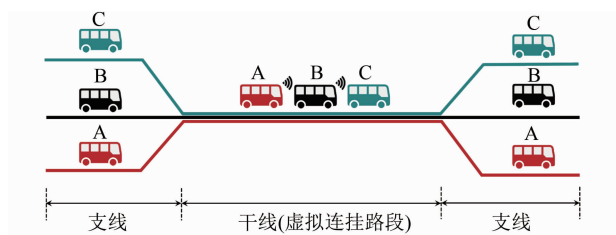
(下转第 79 页)

单编组车辆的载客量难以满足干线客流廊道对运能的要求。多编组车辆进入街道吸引客流属于“大材小用”，容易造成资源浪费，运营成本增加。未来的胶轮导向 5.0 系统应针对公共交通“一干多支”的出行需求，为居民提供便捷、快速的出行服务，为此需实现车辆的灵活编组。

## 6.2 虚拟编组模式

虚拟连挂基于车车通信技术，在不设置机械连挂装置的情况下，通过各车辆之间的信息共享和协同控制，保持各车辆在行驶方向、速度、加速度及间距等运行参数上的一致性，进而使得多辆车组成统一的编队运行，此方式又称为“虚拟编组”。采用虚拟编组方式可提高路段的运输能力，各车协同运行可满足高速状态下的安全行驶要求。该项技术将主要应用于干线客流走廊。

图 12 为路面胶轮导向系统 5.0 阶段的应用模式。如图 12 所示，离开干线客流走廊后，编组车辆将自动解编，分别驶往不同的区域，形成由干线延伸出多条支线的公共交通网络。这样可以提高公共交



注：A、B、C 为车辆编号。

图 12 路面胶轮导向系统 5.0 阶段的应用模式

Fig. 12 Application mode in Stage 5.0 of road rubber-tyred guidance system

通系统的覆盖率，减小乘客的换乘次数，为乘客提供“门到门”的服务。

## 6.3 技术难点

为实现路面胶轮导向系统 5.0 阶段的运行模式，应在车车通信、高速运行状态下车辆对虚拟路径的准确识别、对横向摆动距离的控制、车辆的快速连挂与解编、车辆实时精准定位等关键技术上开展深入研究，并在车车通信的稳定性、安全性、可靠性及时效性上进行验证。

## 参考文献

- [1] 李京增, 李力, 李金华. 现代有轨电车轨道结构探析[J]. 现代城市轨道交通, 2014(5): 55.  
LI Jingzeng, LI Li, LI Jinhua. Analysis on track structure of modern tram[J]. Modern Urban Transit, 2014(5): 55.
- [2] 冯江华, 肖磊, 胡云卿. 智能轨道快运系统[J]. 控制与信息技术, 2020(1): 1.  
FENG Jianghua, XIAO Lei, HU Yunqing. Autonomous-rail rapid transit[J]. Control and Information Technology, 2020(1): 1.
- [3] 徐伟. 超级虚拟轨道快运系统(SRT)特点和适应性分析: 以盐城市为例[J]. 工程技术研究, 2021, 6(5): 40.  
XU Wei. Characteristics and adaptability analysis of super virtual rail express system (SRT)—a case study of Yancheng city[J]. Engineering and Technological Research, 2021, 6(5): 40.

· 收稿日期:2023-01-19 修回日期:2023-03-17 出版日期:2024-04-10

Received:2023-01-19 Revised:2023-03-17 Published:2024-04-10

· 作者:梁帅文,工程师,liebeshan@sina.cn

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 73 页)

- [9] ZHAO Y B. Analysis of Shanghai Metro passenger satisfaction based on fuzzy comprehensive evaluation method[J]. International Core Journal of Engineering, 2021, 7(12): 213.
- [10] 赵栋煜, 翁凡易, 马骧. 基于综合主成分分析的铁路客运服务质量评价[J]. 铁道运输与经济, 2020, 42(3): 18.  
ZHAO Dongyu, WENG Fanyi, MA Si. A railway passenger service quantity evaluation based on comprehensive principle components analysis[J]. Railway Transport and Economy,

2020, 42(3): 18.

· 收稿日期:2023-11-16 修回日期:2023-12-25 出版日期:2024-04-10

Received:2023-11-16 Revised:2023-12-25 Published:2024-04-10

· 第一作者:何静,正高级工程师,hejing@kust.edu.cn

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728