

引用格式:赖森华,陈春俊,闫磊,等.基于层次分析法的地铁列车乘客综合舒适度评价体系[J].科学技术与工程,2019,19(36):296-301
Lai Senhua, Chen Chunjun, Yan Lei, et al. Comprehensive comfort evaluation system of metro passenger based on analytic hierarchy process [J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(36): 296-301

基于层次分析法的地铁列车乘客综合舒适度评价体系

赖森华¹ 陈春俊^{2*} 闫磊¹ 何智颖² 李艳萍²

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司技术中心¹,青岛 266111;
西南交通大学机械工程学院²,成都 610031)

摘要 为建立针对不同乘坐体验的车内舒适度以及站内舒适度指标体系模型,基于地铁列车乘客舒适性调查结果,利用层次分析法(AHP)建立了层次分析模型,并确定了指标的权重关系。分析结果表明,人群密度、噪声、气压波动以及车内设施是影响地铁车内乘坐舒适性的显著因素,票价是影响站内乘客舒适性的重要因素。通过对比不同乘坐体验乘客的模型可知,体验倾向不舒适的乘客对运营服务水平有更高的需求,体验倾向舒适的乘客对车辆运行指标更为关注。基于模型分析结果,提出了地铁列车舒适性优化建议。

关键词 地铁列车 层次分析法 综合舒适度 评价体系

中图法分类号 U293.1; **文献标志码** A

随着城市市民对生活品质的追求提升,乘客对地铁列车的舒适性的需求也日益增加。对地铁列车舒适性展开研究具有重要意义。地铁列车乘客舒适性是指乘坐地铁列车的乘客在整个乘坐过程中,对地铁相关系统从生理与心理方面所感受到的主观满意程度而进行的综合评价,涉及列车运行过程的振动、噪声、气压、温湿度、照明等因素,也涉及空间布局、色调等车内环境因素,还涉及乘坐过程中的服务态度、票价等因素。根据乘客乘坐地铁列车的不同阶段,可将地铁列车乘客综合舒适性分为车内乘车舒适性和站内乘客舒适性。

近年来,国内外对列车的舒适性开展了众多研究^[1-3]。在列车的综合舒适性评价模型的研究方面,秦勇等^[4]对高速列车的振动、噪声、温度以及湿度作用下的舒适度评价方法进行了研究;林建辉等^[5,6]对高速列车在振动、气压、噪声、湿度、温度、照度六大物理因素的作用下的综合舒适度评价方法进行了研究;王海涌等^[7]基于高速列车运行性能指标(振动性、平稳性、加速度)以及空气质量指标(车内温度、湿度、空气洁净度)建立了舒适性评价模

型;陈祥等^[8]基于因子分析与AHP方法,从乘坐需求、生理感受和心理感受三方面选取了53个因子以及12个指标,建立了高速列车舒适性评价模型;日本铃木浩明等^[9]对日本新干线以及既有线上的列车舒适性评价进行了研究,确定了影响乘客舒适度的因素以及因素之间的权重;Akgunduz等^[10]采用了AHP方法对交通工具的座椅感知舒适性进行了研究。但这些研究都是针对高速列车或者传统的铁路客车而进行的,对于地铁列车等城市轨道交通工具的综合舒适性评价模型的研究,目前尚无报道。而对地铁列车的舒适度研究,主要还是集中在对某一物理量作用下的舒适性研究之上。于阁等^[11]、朱剑月等^[12]研究了基于振动舒适性的地铁车辆运行舒适度与平稳性评价方法。而对于其他物理量,目前仅对其影响机理有一定研究,但是并未形成具体的评价标准。

因此,鉴于对地铁列车综合舒适性评价算法上存在研究空白,从车内乘车舒适性与站内乘客舒适性两个方面,通过调查问卷的结果建立层次分析模型,并分析不同指标对不同乘坐体验的乘客的舒适性的影响情况,进而对地铁列车的舒适性提升提供建议。

1 地铁列车乘客舒适性调查

根据调研需要,设计了地铁列车乘客舒适性调

2019年5月27日收到 国家重点研发计划(2017YFB1201103)资助
第一作者简介:赖森华(1966—),男,学士,高级工程师。E-mail:sf-lsh@cqsf.com。

*通信作者简介:陈春俊(1967—),男,博士,教授,博士研究生导师。
E-mail:cjchen@swjtu.edu.cn。

研问卷并在网上发布问卷进行问卷调查。问卷从车内乘车过程中的车辆运行、车内环境、运营与服务3个方面获取车内以及站内乘客对于不同因素的评价以及对乘坐全程中的舒适度综合评价,并利用问卷内问题的相关性对问卷的合理性进行初步检验。在通过网络调研回收共计305份问卷中,筛选出有效问卷294份,问卷有效率为96.4%,其标准化Cronbach's alpha系数为0.773,考虑到乘客舒适度的主观性,问卷的信度可以接受。表1和表2分别给出了车内乘客舒适度调研和站内乘客舒适度调研的有效问卷的调查结果。表3给出了乘客在整个乘坐地铁过程中的对实际地铁列车环境(振动环境、噪声环境、气压环境等)的舒适度综合体验调查结果。为了解不同综合体验下乘客的舒适度情况,将样本数据分为倾向舒适(非常舒适、舒适)以及倾向不舒适(一般、不适)两类,建立不同的层次分析模型,分析各个因素对不同乘坐体验的乘客的影响情况。

表1 车内舒适性调查结果

Table 1 Results of the survey of in-coach comfort

| 指标 | 人数 | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 很舒适 | 舒适 | 一般 | 不适 | 很不适 |
| 振动 | 102 | 113 | 44 | 33 | 2 |
| 噪声 | 72 | 103 | 74 | 42 | 3 |
| 气压波动 | 127 | 63 | 54 | 34 | 16 |
| 温度 | 207 | - | 85 | - | 2 |
| 湿度 | 227 | - | 64 | - | 3 |
| 空气清新度 | 79 | - | 166 | - | 49 |
| 照度 | 160 | - | 110 | - | 24 |
| 车内布局 | 41 | 146 | 99 | 8 | 0 |
| 车内配色 | 45 | 144 | 92 | 11 | 2 |
| 车内设施 | 39 | 137 | 105 | 12 | 1 |
| 人群密度 | 9 | 29 | 73 | 108 | 75 |
| 运行速度 | 85 | 136 | 59 | 14 | 0 |
| 正点性 | 94 | 137 | 54 | 8 | 1 |
| 显示屏显示 | 61 | 117 | 87 | 26 | 3 |
| 车内报站 | 94 | 126 | 60 | 13 | 1 |

表2 站内舒适性调查结果

Table 2 Results of the survey of in-station comfort

| 指标 | 人数 | | | | |
|-------|-----|-----|-----|----|-----|
| | 很舒适 | 舒适 | 一般 | 不适 | 很不适 |
| 发车间隔 | 56 | 132 | 88 | 18 | 0 |
| 售票方便性 | 77 | 137 | 63 | 15 | 2 |
| 票价 | 36 | 109 | 103 | 31 | 15 |
| 站内标志 | 72 | 135 | 76 | 10 | 1 |
| 工作态度 | 59 | 134 | 86 | 14 | 1 |

表3 综合乘坐体验调查结果

Table 3 Results of the survey of comprehensive comfort

| 评价 | 很舒适 | 舒适 | 一般 | 不适 | 很不适 |
|----|-----|-----|-----|----|-----|
| 人数 | 9 | 180 | 101 | 4 | 0 |

2 基于层次分析法的地铁列车综合舒适度指标体系模型

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是20世纪70年代由美国学者Saaty^[13,14]教授提出的一种定性与定量分析相结合的决策方法。该方法将决策相关的元素划分为目标、决策、方案或指标等若干层次,通过求解各层指标对上一层指标的权重关系,进而实现定性与定量决策。

为获取不同因素对乘客舒适性的影响权重,以及分析不同乘客乘坐体验下的舒适性影响因素之间的权重差异,分别对总体和各组分别采用AHP确定舒适性影响因素之间的权重关系。

基于上述目的,建立如图1所示的地铁列车乘客综合舒适性层次评价模型。车内乘客舒适性目标层指标进一步细分为车辆运行、车内环境、运营与服务3个决策层指标;其中车辆运行指标由振动、噪声、气压3个一级指标层指标组成,车内环境由空气、照度、设计以及人群密度一个一级指标层组成。运营服务指标由运行组织及服务水平两个一级指标层指标组成。站内乘客舒适性由运行组织一个决策层指标组成,分为发车间隔、售票、服务水平3个一级指标。

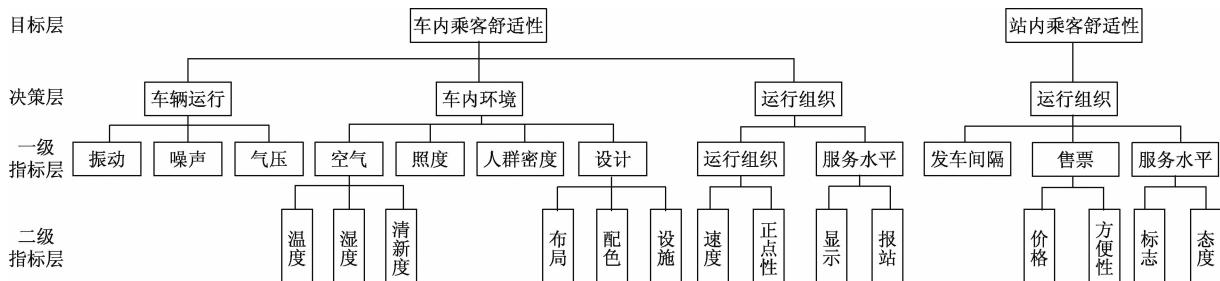


图1 地铁列车乘客综合舒适性层次评价模型

Fig. 1 Analytic hierarchy model of the comprehensive comfort of metro

各一级指标层指标还可以进一步细分为若干个二级指标层指标。利用 AHP 计算求解每一层之间的权重关系。并在此基础上,通过权重对影响地铁列车乘客舒适性的因素进行分析。

2.1 原始指标的量化

采用五级舒适度评价方法对原始指标进行量化,将问卷中各指标 X_i 按照被调查对象的主观描述量化为量化值 x_i 。量化值 1、2、3、4、5 分别代表“非常舒适”、“舒适”、“一般”、“不适”、“非常不适”。

2.2 模型权重求解方法

建立层次分析模型前,首先需要建立各个因素之间的重要性矩阵 A 。其形式为

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

所采用的重要性矩阵采用九级标度法建立。重要性矩阵的元素 a_{ij} 称重要性或判断尺度,其中 a_{ij} 取值为 1、3、5、7、9 时,分别表示 X_i 和 X_j 相比, X_i 显得“同样重要”、“稍微重要”、“明显重要”、“显著重要”和“极端重要”,取值为 2、4、6、8 时表明重要性处在相邻的两个重要性之间。当指标 X_i 没有指标 X_j 重要时,则指标 X_i 对指标 X_j 重要性 a_{ij} 取指标 X_j 对指标 X_i 的重要性 a_{ji} 的倒数。显然有:

$$a_{ij}a_{ji} = 1 \quad (2)$$

接着利用 AHP 方法计算权值,需要通过寻找重要性矩阵 A 的特征值 λ 和特征向量 W ,使其满足:

$$AW = \max(\lambda)W \quad (3)$$

此外,若重要性矩阵为二阶矩阵,矩阵一定满足一致性。但若重要性矩阵为三阶及以上矩阵时,当随机一致性指标 CR 满足

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\max(\lambda) - n}{RI(n - 1)} < 0.1 \quad (4)$$

时,则对向量 W 进行归一化后的向量 w 即为所求的权重向量。式(4)中 CI 值为一致性检验指标,通过重要性矩阵 A 的阶数以及最大特征值计算得到; RI 为平均随机一致性检验指标,可根据重要性矩阵 A 的阶数查表获得,对于三阶及四阶矩阵, RI 分别为 0.52 和 0.89。

所以,首先对重要性 a_{ij} 进行定义。设二级指标 X_i 的量化后的量化值为 x_i ,计算指标 X_i 与指标 X_j 的量化平均值之比:

$$b_{ij} = \frac{\bar{x}_i}{\bar{x}_j} \quad (5)$$

对二级以上指标 Y_i ,对 n_i 个下级指标 Y_i ,利用其下一级指标 X_p 的权重为 w_p 以及量化平均值为

\bar{x}_p ,计算加权平均值之比

$$b_{ij} = \frac{\sum_{p=1}^{n_i} w_p \bar{x}_p}{\sum_{q=1}^{n_j} w_q \bar{x}_q} \quad (6)$$

根据对重要性的定义,定义指标之间的重要性的计算式为

$$a_{ij} = \begin{cases} 9b_{ij}/5, & b_{ij} > 1 \\ 1, & b_{ij} = 1 \\ 5b_{ij}/9, & b_{ij} < 1 \end{cases} \quad (7)$$

基于以上对重要性的定义和分析,计算层次分析模型的步骤如下:①建立二级指标层的重要性矩阵;②通过二级指标层重要性矩阵求解二级指标之间的权重关系,并进行一致性检验;③建立一级指标层的重要性矩阵;④通过一级指标层重要性矩阵求解一级指标之间的权重关系,并进行一致性检验;⑤建立决策层的重要性矩阵;⑥通过决策层重要性矩阵求解决策层指标之间的权重关系,并进行一致性检验。

2.3 综合舒适度指标体系模型

以全体样本作为建模的依据,首先建立车内乘客舒适性目标层下的车内环境各二级指标之间的重要性矩阵。利用舒适度调研的结果,利用 2.2 节所述的计算步骤,对重要性矩阵进行计算。式(8)给出了车内环境中空气一级指标下的二级指标的重要性矩阵 A_{21} :

$$A_{21} = \begin{bmatrix} 1 & 1.883 & 0.328 \\ 0.531 & 1 & 0.313 \\ 3.051 & 3.191 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

进而求得车内环境下空气一级指标下的二级指标之间的权重关系向量:

$$w_{21} = [0.240 \ 7 \ 0.155 \ 5 \ 0.603 \ 8]^T \quad (9)$$

同理可求其他一级指标下的二级指标间的权重关系。并在此基础上,可求得车内环境一级指标的重要性矩阵:

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1.968 & 0.453 & 2.780 \\ 0.508 & 1 & 0.414 & 0.254 \\ 2.210 & 2417 & 1 & 0.341 \\ 3.598 & 3.934 & 2.931 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

求得车内环境一级指标之间的权重:

$$w_2 = [0.144 \ 4 \ 0.098 \ 4 \ 0.237 \ 8 \ 0.519 \ 4]^T \quad (11)$$

同理可以求得车内乘客舒适性与站内乘客舒适性目标层下各个指标层以及决策层的重要性矩阵,并根据重要性计算其权重值。并对综合体验倾向舒适的样本(样本 1, 下同)和综合体验倾向不舒适的样本(样本 2, 下同)建立的层次分析模型的权重进行计算,建立层次分析模型。表 4~表 7 分别给出

了全体样本以及样本1、样本2的车内乘客舒适度以及站内乘客舒适度模型决策层、一级指标层、二级指标层以及最底层指标对目标层的权重值。

表4 不同样本的层次分析模型决策层权重比较

Table 4 Comparison of the weighting factors of the decision layer from models based on the different samples

| 目标层 | 决策层 | 权重 | | |
|---------|------|---------|---------|---------|
| | | 全体 | 样本1 | 样本2 |
| 车内乘客舒适性 | 车辆运行 | 0.266 9 | 0.358 9 | 0.268 3 |
| | 车内环境 | 0.629 1 | 0.578 8 | 0.624 7 |
| | 运营服务 | 0.104 0 | 0.062 3 | 0.107 0 |
| 站内乘客舒适性 | 运营服务 | 1.000 0 | 1.000 0 | 1.000 0 |

表5 不同样本之间一级指标层权重比较

Table 5 Comparison of the weighting factors of the 1st index layer from models based on the different samples

| 决策层 | 一级指标层 | 权重 | | |
|----------|-------|---------|---------|---------|
| | | 全体 | 样本1 | 样本2 |
| 车辆运行 | 振动 | 0.198 6 | 0.195 1 | 0.204 1 |
| | 噪声 | 0.493 4 | 0.495 5 | 0.490 0 |
| | 气压 | 0.308 0 | 0.309 4 | 0.305 9 |
| 车内环境 | 空气 | 0.144 4 | 0.140 4 | 0.150 9 |
| | 照度 | 0.098 4 | 0.096 6 | 0.101 4 |
| | 设计 | 0.237 8 | 0.231 8 | 0.247 8 |
| 运营服务(车内) | 人群密度 | 0.519 4 | 0.531 2 | 0.499 9 |
| | 运行组织 | 0.381 9 | 0.378 8 | 0.387 8 |
| | 服务水平 | 0.618 1 | 0.621 2 | 0.612 2 |
| 运营服务(站内) | 发车间隔 | 0.132 7 | 0.133 5 | 0.132 0 |
| | 售票 | 0.673 8 | 0.674 6 | 0.672 2 |
| | 服务水平 | 0.193 5 | 0.191 9 | 0.195 8 |

表6 不同样本之间二级指标层权重比较

Table 6 Comparison of the weighting factors of the 1st index layer from models based on the different samples

| 一级指标层 | 二级指标层 | 权重 | | |
|----------|-------|---------|---------|---------|
| | | 全体 | 样本1 | 样本2 |
| 空气 | 温度 | 0.240 7 | 0.245 3 | 0.233 5 |
| | 湿度 | 0.155 5 | 0.158 2 | 0.151 3 |
| | 清新度 | 0.603 8 | 0.596 5 | 0.615 2 |
| 设计 | 布局 | 0.211 2 | 0.211 0 | 0.259 8 |
| | 配色 | 0.313 0 | 0.313 1 | 0.259 8 |
| | 设施 | 0.475 8 | 0.475 9 | 0.480 4 |
| 运行组织 | 速度 | 0.605 3 | 0.598 8 | 0.617 2 |
| | 正点性 | 0.394 7 | 0.401 2 | 0.382 8 |
| 服务水平(车内) | 显示 | 0.735 7 | 0.739 9 | 0.731 5 |
| | 报站 | 0.264 3 | 0.260 1 | 0.268 5 |
| 售票 | 方便性 | 0.307 8 | 0.309 1 | 0.305 9 |
| | 价格 | 0.692 2 | 0.690 9 | 0.694 1 |
| 服务水平(站内) | 站内标志 | 0.414 0 | 0.409 0 | 0.422 4 |
| | 工作态度 | 0.586 0 | 0.591 0 | 0.577 6 |

表7 最底层指标对目标层的权重关系

Table 7 Comparison of the weighting factors between the indices of the lowest index layer and the goal layer

| 目标层 | 最底层指标 | 权重 | | |
|---------|-------|---------|---------|---------|
| | | 全体 | 样本1 | 样本2 |
| 车内乘客舒适性 | 振动 | 0.053 0 | 0.070 0 | 0.054 8 |
| | 噪声 | 0.131 7 | 0.177 8 | 0.131 5 |
| | 气压 | 0.082 2 | 0.111 0 | 0.082 1 |
| | 温度 | 0.021 9 | 0.019 9 | 0.022 0 |
| | 湿度 | 0.014 1 | 0.012 9 | 0.014 3 |
| | 清新度 | 0.054 9 | 0.048 5 | 0.058 0 |
| | 照度 | 0.061 9 | 0.055 9 | 0.063 3 |
| | 布局 | 0.031 6 | 0.028 3 | 0.040 2 |
| | 配色 | 0.046 8 | 0.042 0 | 0.040 2 |
| | 设施 | 0.071 2 | 0.063 8 | 0.074 4 |
| 站内乘客舒适性 | 人群密度 | 0.326 8 | 0.307 5 | 0.312 3 |
| | 速度 | 0.024 0 | 0.014 1 | 0.025 6 |
| | 正点性 | 0.015 7 | 0.009 5 | 0.015 9 |
| | 显示 | 0.047 3 | 0.028 6 | 0.047 9 |
| | 报站 | 0.017 0 | 0.010 1 | 0.017 6 |
| | 发车间隔 | 0.132 7 | 0.1335 | 0.1320 |
| | 购票方便性 | 0.207 4 | 0.208 5 | 0.205 6 |
| | 价格 | 0.466 4 | 0.466 1 | 0.466 6 |
| | 站内标志 | 0.080 1 | 0.078 5 | 0.082 7 |
| | 工作态度 | 0.113 4 | 0.113 4 | 0.113 1 |

3 乘客舒适性影响因素分析

从AHP算法的原理可知,对乘客影响较大的指标 X_i 可以获得较大的权重 w_i 。因此权重 w_i 的取值从一定程度上反映了乘客对于各指标的关注和需求程度。

3.1 不同因素对乘客舒适性的影响分析

首先对车内乘客舒适度进行分析。

从车辆运行方面看,对地铁列车乘客舒适性影响最大的因素为噪声,其次为气压波动,振动的影响不如上述两个因素明显。

从车内环境方面看,人群密度是车内环境舒适性的最主要因素;其次是车内设计,其中车内设施是影响车内设计舒适性的主要因素;车内空气环境和照明环境也会对乘客的舒适性产生一定影响;其中车内空气环境中,车内空气清新度的重要性明显超过了车内温度、湿度的重要性;而地铁列车照度的重要性也较高。

从运营服务方面看,乘客对运行组织(发车间隔、运行速度和正点性)比较满意,但对服务水平的要求更高;此外,在车内服务水平方面,乘客对于显示屏显示的服务需求较高,而报站所占权重较小,说

明乘客对报站的舒适度情况比较满意。

从整体上看,人群密度、运行过程中的噪声会对乘客的舒适性造成显著的影响,同时运行车内的气压波动、车内设施情况以及照明会对乘客的舒适性带来明显的影响,空气清新度、振动等会对乘客的舒适性带来一定的影响。

3.2 不同体验的乘客舒适性影响因素分析

由基于不同乘坐体验的样本1以及样本2的乘客样本建立的不同的层次分析模型,并对各指标权重进行分析。

首先对车内乘客的舒适性进行分析。从表4可以分析得出,对于所有乘客,车内环境是影响舒适性的最主要因素。样本1的乘客认为车辆运行的重要性比样本2的乘客要高一些,而样本2的乘客对于地铁列车车内的运营、服务以及管理水平的需求更加明显。从表5、表6可以得知,样本1的乘客与样本2的乘客相比,在同一决策层下的一级及二级指标间的权重关系无显著差异($p > 0.05$),但样本2的乘客认为车内布局的重要性比乘坐体验倾向舒适的乘客所认为的更高,而对于配色的要求比样本1的乘客所认为的要低。对所有乘客而言,人群密度仍然是最主要的影响因素,但样本1的乘客认为人群密度的重要性更高。

综上所述,样本1的乘客对车辆运行过程以及车内环境的软件指标的舒适性(配色、人群密度)更加关注;而样本2的乘客则更加关注车内环境硬件指标(车内布局、车内设施)以及车内运营服务的舒适性;而温度、湿度、空气清新度以及照明环境对不同乘坐体验的乘客的舒适性影响权重近乎相同。

从表4~表7可知,对于站内乘客而言,考察的车站进站、购票以及候车过程中的因素对不同乘坐体验影响权重没有明显差异。

4 结论

通过对模型进行分析,可以得到以下结论。

(1) 人群密度是影响乘客车内舒适性的最显著因素。建议在地铁线路建设初期做好客流预测;运营过程中提升客流组织能力,对发车间隔、上线列车数以及运营交路进行合理规划。

(2) 票价是影响站内乘客舒适性比较明显的因素。合理的票价有利于提升地铁列车乘客出行的舒适度,提升地铁出行的占有率;另外,可以增加购票方式的多样性,提升乘客购票的便利性。

(3) 列车运行过程中的噪声、气压变动以及空气清新度也能对乘客乘坐过程的舒适性产生明显影响。因此线路需要采用合理的减振轨道及道床结

构,设计时需要考虑列车的减振降噪结构^[16];充分考虑车辆的气密性设计,对地铁列车的空调系统进行优化,在保证舒适情况下提升车内新风量以提升清新度。

(4) 提升车内硬件设施、提高地铁列车的运营服务水平有助于提升地铁列车的舒适度,必要时需考虑地铁列车的配色等软件因素。

(5) 建议对地铁列车进行自适应照度调整,满足不同乘客在不同环境下的舒适性需求。

(6) 为提升乘客乘坐过程的舒适性,需合理安装乘客信息显示系统,优化显示内容,建议在车厢两端安装LED显示器,对运行信息进行播报。

参 考 文 献

- 徐峰. 旅客列车舒适度研究进展[J]. 疾病监测与控制, 2015, 9(10): 715-717
Xu Feng. Review of research progress on comfort of passenger train [J]. Journal of Diseases Monitor & Control, 2015, 9(10): 715-717
- Wang H Y, Wang X M, Dang J W. Comprehensive evaluation study of multiple comfort for high-speed train [J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 571-572: 312-317
- Wang H Y, Wang X M, Dang J W. Multidimensional coefficient approach to comfort evaluating for high-speed train [J]. Telkomnika Indonesian Journal of Electrical Engineering, 2014, 12 (3): 2036-2041
- 秦勇, 刘松, 薛玉, 等. 基于FAHP与GA的列车乘坐舒适度综合评价[J]. 中南大学学报, 2011, 42(1): 119-123
Qin Yong, Liu Song, Xue Yu, et al. Comprehensive evaluation of ride comfort of trains based on FAHP and GA [J]. Journal of Central South University, 2011, 42(1): 119-123
- 林森, 林建辉, 刘璐. 一种客观判定高速列车综合舒适度的方法[J]. 铁道机车车辆, 2013, 33(6): 5-9
Lin Sen, Lin Jianhui, Liu Lu. An objective method for determining the comprehensive comfort of high-speed trains [J]. Railway Locomotive & Car, 2013, 33(6): 5-9
- 邓勇韬, 林建辉, 丁建明. 基于模糊评价的高速列车旅客综合舒适度和策略研究[J]. 中国科技纵横, 2014(5): 293-294
Deng Yongtao, Lin Jianhui, Ding Jianming. Research on comprehensive comfort of passengers of high-speed train and its strategy based on fuzzy evaluation [J]. China Science & Technology Overview, 2014 (5): 293-294
- 王海涌, 张伟玥, 王晓明, 等. 基于ANP和VPRS的高速列车舒适性综合评价指标权重分析[J]. 铁道学报, 2014, 36(6): 15-20
Wang Haiyong, Zhang Weiyue, Wang Xiaoming, et al. ANP and VPRS based analysis on index weight for comprehensive evaluation of comfort of high-speed train [J]. Journal of the China Railway Society, 2014, 36(6): 15-20
- 陈祥, 李芾. 基于因子分析与AHP的高速列车乘坐舒适度评价模型与实证分析[J]. 铁道学报, 2010, 32(1): 13-18
Chen Xiang, Li Fu. Evaluation model and empirical analysis of ride comfort of high-speed trains based on factor analysis and AHP [J].

- Journal of the China Railway Society, 2010, 32(1): 13-18
- 9 铃木浩明,管永利. 列车舒适度的评价[J]. 国外铁道车辆, 1999(2): 26-32
- Hiroaki Suzuki, Guan Yongli. Evaluation of comfort of trains [J]. Foreign Rolling Stock, 1999(2): 26-32
- 10 Akgunduz A, Rakheja S, Tarczay A. Distributed occupant-seat interactions as an objective measure of seating comfort [J]. International Journal of Vehicle Design, 2014, 65(4): 293-313
- 11 于 阁,林建辉,张 兵. 高速动车组车体振动特征及振动舒适度研究[J]. 铁道机车车辆, 2013, 33(增刊1): 92-95
- Yu Ge, Lin Jianhui, Zhang Bing. Research of car body vibration characteristic and vibration comfort of high-speed EMU[J]. Railway Locomotive & Car, 2013, 33(S1): 92-95
- 12 朱剑月, 朱良光, 周劲松, 等. 地铁车辆运行舒适度与平稳性评价[J]. 城市轨道交通研究, 2007, 10(6): 28-31
- Zhu Jianyue, Zhu Liangguang, Zhou Jinsong, et al. Evaluation of riding comfort and stability index[J]. Urban Mass Transit, 2007,
- 10(6): 28-31
- 13 Saaty T L. Analytic hierarchy process[C]// Mathematical models for decision support. Berlin: Springer, 2001: 109-121
- 14 Saaty T L. Analytic hierarchy process[M]. New York: John Wiley & Sons, Ltd, 1980: 19-28
- 15 沈景炎. 关于车辆定员与拥挤度的探析[J]. 都市快轨交通, 2007, 20(5): 14-18
- Shen Jingyan. Analysis of the capacity and congestion of vehicles [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2007, 20(5): 14-18
- 16 刘英杰,卢贤丰,刘世华. 城市地铁噪声分析与控制[C]//全国噪声与振动控制工程学术会议. 北京:中国声学学会, 2005: 89-92
- Liu Yingjie, Lu Xianfeng, Liu Shihua. Urban metro noise analysis and control[C]// National Academic Conference on Noise and Vibration Control Engineering. Beijing: Acoustical Society of China, 2005: 89-92

Comprehensive Comfort Evaluation System of Metro Passenger Based on Analytic Hierarchy Process

LAI Sen-hua¹, CHEN Chun-jun^{2*}, YAN Lei¹, HE Zhi-ying², LI Yan-ping²

(R & T Centre, CRRC Qingdao Sifang Co, Ltd¹, Qingdao 266111, China;

School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University², Chengdu 610031, China)

[Abstract] In order to build the riding comfort index system models for the in-coach and in-station samples with different riding experience, based on the survey of the riding comfort of the metro passenger, the analytic hierarchy process (AHP) algorithm is applied to build analytic hierarchy models, and the weighting factors of the models are determined. The analyses of the model reveal that the crowd density, noise, variation of air pressure and facilities are the relatively significant factors that impact passenger's in-coach riding comfort while the ticket price is the dominant factor affecting the comfort experience in the metro station. Comparison between riding comfort models shows that the passengers tending to have a discomfort riding experience will have higher demands on the level of operational service, while the passengers tending to have a comfort evaluation will focus on the vehicle-operation factors. Suggestions for the optimizing the comfort degree of the metro passengers are put forward based on the analyses of the models.

[Key words] metro analytic hierarchy process comprehensive comfort evaluation system