

模糊层次分析法在城市轨道交通运营设备设施质量评价中的应用探索

李振国¹ 鄂美霞^{2*}

1.重庆轨道四号线建设运营有限公司; 2.重庆圳昱交通科技有限公司 重庆 400000

摘要:城市轨道交通作为现代城市交通系统的重要组成部分,其运营设备设施的质量直接影响着整个系统的运行效率和服务水平。针对这一问题,本文探讨了模糊层次分析法(Fuzzy Analytical Hierarchy Process, FAHP)在城市轨道交通运营设备设施质量评价中的应用。通过构建评价指标体系,结合模糊数学和层次分析法,给出了一种相对比较系统、科学的定量化评价方法,并通过实际案例验证了其有效性和可行性,为城市轨道交通设备设施运行质量的管理决策提供参考。

关键词: 城市交通; 运营设备设施; 模糊数学; 评价指标体系; 质量评价

引言:

随着城市轨道交通网络化进程和多元融合发展战略的推进,运营管理复杂化特征也日益显著,同时轨道交通系统的复杂性和庞大规模也带来巨大挑战。确保运营设备设施的高质量,是保障轨道交通系统高效、安全运行的关键,也是提升运营管理实效的基础。因此,建立科学的标准化设备设施质量管理评价体系,及时掌握设备设施的运行状态和规律,并发现和解决影响其稳定可靠性的主要问题,具有重要的现实意义。

在质量评价方法和指标的研究中,杜鹏程^[1]在城市轨道交通服务评价体系和调查方案的基础上,用模糊综合评价模型进行综合评价。李沛^[2]采用EDA方法,经过指标选取、模型建立等步骤对成都市轨道交通换乘站接驳绩效评价。姜彦璘^[3]等运用多变量综合评价的方法,“以乘客为核心”对地铁运营服务水平评价。王国成^[4]等采用美国制定的城市轨道交通乘客服务水平标准,从方便性、迅捷性、准时性、舒适性、安全性和经济性等六个方面来评定成都地铁服务水平。陈光^[5]等从出行者角度出发,根据通达性和便捷性为一级指标的多层服务指标体系建立了城轨服务水平指标体系。Lee J Y S^[6]等以香港地铁为研究对象,根据乘客出行的质量要求,对地铁运营水平划分了等级,实现了对运营水平等级划分的研究。

通过上述文献分析可知,目前围绕轨道交通服务质量水的研究较多,但针对设备质量评价的研究不多。笔者在结合自身所在企业线路运营实际情况的基础上,基于实际调查数据,全方位的对评价方法和评价指标进行考量,权衡利弊之后,最终采用模糊层次分析法构建城市轨道交通运营设备设施质量评价模型,系统地分析和评估轨道交通设备设施的质量状况,为管理者提供相对比较科学的决策依据,提升轨道交通系统的运行效率和服务水平。

一、质量评价指标体系的构建

构建科学合理的评价指标体系是进行质量评价的首要条件。本文在构建轨道交通运营设备设施质量评价指标体系时,遵循科学性、系统性、一致性、可行性和动态性原则,结合轨道交通运营设备设施的特点和自身所在企业的实际情况,构建了三级评价指标体系,包括目标层(最高

层)、准则层(中间层)和因素层(最底层)。笔者以车辆系统设备为例构建的指标体系如表1。

二、模糊层次分析法的应用

(一) 建立模糊判断矩阵

根据构建的评价指标体系,邀请行业内专家或各专业工程师分别对各类各层次的指标进行两两比较,即根据自身

表1 车辆专业系统设备评价指标体系

目标层		准则层		因素层			
专业		一级指标		二级指标		三级指标	
代码	名称	代码	定义	代码	定义	代码	定义
CL	车辆	A	对运营影响程度 (行车指标)	A1	影响行车	A1.1	构成事件苗头及以上事件/事故
						A1.2	晚点时间>15min
						A1.3	5min < 晚点时间 < 15min
						A1.4	2min < 晚点时间 < 5min
				A2	影响客运	A2.1	救援
						A2.2	清客
		B	设备设施可靠性 (故障率)	B1-B14	B1	制动系统	
					B2	转向架	
					B3	牵引系统	
					B4	辅助供电	
					B5	控制	
					B6	车门	
					B7	低压供电	
					B8	车钩	
B9	广播						
B10	空调						
B11	照明系统						
B12	贯通道						
B13	车体						
B14	辅助功能						

经验和专业知识，对各指标的相对重要性进行评分。评分采用模糊数（标度）表示。在此笔者为了提高比较评分的准确性和计算方便，标度采用整数且最大值与因素总数一致，见表2。

表2 评分标度值（模糊数）的界定

标度	意义	备注
1	表示两个因素相比，具有相同重要性	基准标度
2	表示两个因素相比，前者比后者稍重要	
3	表示两个因素相比，前者比后者明显重要	
4	表示两个因素相比，前者比后者强烈重要	
5	表示两个因素相比，前者比后者明显强烈重要	
...	...	
n	表示两个因素相比，前者比后者极端重要	最大标度 (因素数)

以车辆一级指标B（设备设施可靠性）为例，首先通过初步判定最重要的因素（子系统）或之一作为基准成对比较对象，然后将其分别与其他因素两两比较得出对应的标度值（允许标度相同或不连续），最后按照标度值的大小（即因素相对基准表标度的重要程度）对所有因素倒序排列，并转置形成模糊互补判断矩阵，期间完成一致性校验，见表3。

表3 车辆专业系统设备模糊判断矩阵

B	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
B1	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00
B2	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00
B3	0.50	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
B4	0.33	0.33	0.67	1.00	1.33	1.67	2.00	2.33	2.67	2.67	3.00	3.33	3.67	4.00
B5	0.25	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00
B6	0.20	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40
B7	0.17	0.17	0.33	0.50	0.67	0.83	1.00	1.17	1.33	1.33	1.50	1.67	1.83	2.00
B8	0.14	0.14	0.29	0.43	0.57	0.71	0.86	1.00	1.14	1.14	1.29	1.43	1.57	1.71
B9	0.13	0.13	0.25	0.38	0.50	0.63	0.75	0.88	1.00	1.00	1.13	1.25	1.38	1.50
B10	0.13	0.13	0.25	0.38	0.50	0.63	0.75	0.88	1.00	1.00	1.13	1.25	1.38	1.50
B11	0.11	0.11	0.22	0.33	0.44	0.56	0.67	0.78	0.89	0.89	1.00	1.11	1.22	1.33
B12	0.10	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
B13	0.09	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.55	0.64	0.73	0.73	0.82	0.91	1.00	1.09
B14	0.08	0.08	0.17	0.33	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.67	0.75	0.83	0.92	1.00

(二) 计算模糊权重向量

根据模糊判断矩阵，采用模糊层次分析法计算各指标的模糊权重向量。具体步骤如下：

(1) 矩阵归一化处理：对上表模糊判断矩阵的每一元

素进行归一化处理，得到标准化模糊判断矩阵。

(2) 计算模糊权重向量：根据归一化模糊判断矩阵，笔者选用算术平均法计算得出一级指标B对应的各三级指标（子系统/设备）的模糊权重向量，为确保计算精度，保留4位小数，如表4。

表4 车辆专业系统设备模糊权重向量

因素	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
权重	0.2364	0.2364	0.1182	0.0788	0.0591	0.0473	0.0394
因素	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14
权重	0.0338	0.0295	0.0295	0.0263	0.0236	0.0215	0.0202

(三) 模糊综合评价

根据各指标的权重，录入实际数据，采用模糊综合评价方法对轨道交通运营设备设施的质量进行综合评价。具体步骤如下：

(1) 确定评价指标、评价集和评价等级：首先，评价指标（基准值）的确定对最后的评价结果起着至关重要的作用。以上述车辆专业的指标B为例，各子系统/设备的基准故障率在满足相关规定的同时，一方面要参考行业内的平均水平同时结合自身运营线路的实际情况综合考虑，另一方面为提高评价结果的客观准确性还应从时间维度（全寿命周期）对基准故障率动态更新。比如，笔者所在的企业运营线路，以月为周期在首月初次确定基准故障率时，选取从开通初期运营至统计前一个月的累计数据计算平均值，那么下个月基准故障率的计算就需要把首月的数据也纳入累计数据，以此类推，后续每个月的基准故障率计算都需要以运营至前一个月的累计数据为基础计算，持续动态更新。此外针对车辆专业的指标A，在考虑上述因素的同时还应满足企业年度目标和自身管理需求。

然后，结合评价指标进一步确定评价集（优、良、中、差）和对应的评价等级（90-100分、80-90分、60-80分、60分以下）。

(2) 计算模糊综合评价：采集录入运营实际数据（包括基础数据、行车指标相关数据和系统/设备故障相关数据等），根据基准值、评价集和评价等级，对各指标进行评分，通过权重向量计算模糊综合评价，车辆专业系统设备的录入运营数据汇总表见表5。

(3) 确定综合评价结果：将模糊综合评价通过加权求和等方法进行归一化处理，得到设备设施质量的综合评价结果，见表6。

表5 车辆专业系统设备录入运营数据

车辆专业系统设备 202X年X月录入运营数据汇总表			
专业及子系统故障率计算公式		故障次数/万列公里	
	项目	数据	
基础数据	每列车辆数(节)	6	
	本月运营里程(车公里)	1,985,350.00	
	运营截止到上月累计运营里程	12,448,930.00	
	本月专业故障数	21	
	运营截止到上月专业累计故障数	252	
	专业子系统数	14	
	专业基准故障率	0.0337	
A数据	子系统基准故障率	0.0024	
	故障影响运营类型	本月发生件数	
	构成事件苗头及以上事件/事故	0	
	晚点时间>15min	0	
	5min<=晚点时间<15min	1	
	2min<=晚点时间<5min	3	
	救援	0	
	清客	1	
	下线	1	
	未出库	1	
B数据	子系统名称	本月故障数	本月故障率
	制动系统	1	0.0008
	转向架	0	0.0000
	牵引系统	7	0.0059
	辅助供电	4	0.0034
	控制	1	0.0008
	车门	0	0.0000
	低压供电	3	0.0025
	车钩	1	0.0008
	广播	1	0.0008
	空调	1	0.0008
	照明系统	2	0.0017
	贯通道	0	0.0000
	车体	0	0.0000
辅助功能	0	0.0000	

表6 车辆专业系统设备质量评价结果

评价结果	评价项目	评价得分	评级
结果	一级指标A	79.03	中
	一级指标B	91.14	优
	专业综合评价	85.08	良

(4) 评价结果分析: 通过上表评价结果可以看出, 车辆专业系统设备一级指标A得分较低, 评级为中, 主要受晚点和清客下线等事件影响; 一级指标B得分评级为优, 反映出大部分系统设备的稳定可靠性较好。综合两个指标并结合实际情况分析, 本月牵引辅助子系统的故障率相对其他子系统较高, 并对行车和客运影响较大, 此外还发现行车组织也

存在一定的问题, 同时对指标A有一定的影响。最后综合评价得分评级为良。

根据上述评价结果, 接下来应对车辆牵引辅助子系统重点关注, 按需开展必要的排查整改工作, 同时还应进一步有针对性地分析优化行车组织方案。

三、结论

本文以城市轨道交通运营设备设施的现实需求为基础, 结合模糊层次分析法, 构建了城市轨道交通运营设备设施质量评价模型, 并通过实际案例验证了该方法的有效性和实用性, 所得主要结论如下:

(1) 综合评价结果表明, 整体质量评价得分为85.08, 评分等级为良; 设备设施的可靠度得分为91.14, 评分等级为优; 行车指标得分为79.03, 评分等级为中, 存在服务质量偏差的问题, 需结合实际状况提出改进对策, 提高服务水平。

(2) 模糊层次分析法能够有效解决传统层次分析法在处理模糊性和不确定性方面的不足, 为轨道交通设备设施质量评价提供了一种科学、系统的方法。在一定程度上反映出了部分系统设备的相关问题, 对设备设施日常检修维护重点和隐患排查治理方向提供了有效依据。

在以上研究结果的基础上, 仍有一些问题值得深入研究。首先, 评价指标的选取和权重分配可能受到专家或专业工程师主观因素影响, 需要进一步完善。其次, 评价方法的实际应用需要更多的案例和长时间的验证和改进。在未来的研究中, 可以结合实际情况, 对评价模型进行优化和改进, 提高其适用性和准确性。

参考文献:

- [1] 杜鹏程.城市轨道交通服务综合评价[D].西南交通大学,2013.
- [2] 李沛.城市轨道交通换乘站接驳绩效评价研究[D].西南交通大学,2021.
- [3] 姜彦麟,张文韬.地铁运营服务水平评价体系构建[J].中国高新技术企业,2016(08):154-155.

[4] 王国成,毛永文,李华.地铁网络化运营服务水平提升方法探讨[J].城市轨道交通,2019(04):30-33.

[5] 陈光,张宁,陈晖,等.城市轨道交通服务水平评价体系研究[J].都市快轨交通,2008,21(06):5-10.

[6] Lee J Y S, Lam W H K. Levels of service for stairway in Hong Kong underground stations[J]. Journal of Transportation Engineering, 2003, 129(2):196-202.

作者简介: 李振国(1987—),男,大学本科,工程师,研究方向:城市轨道交通运营安全质量管理。

通讯作者: 郭美霞(1998—),女,大学本科,助理工程师,研究方向:交通运输。