

基于层次分析法的纯电动客车整车性能评价体系

赵红光, 薛守飞, 韩关文, 刘 雷, 尹舜宇

(中通客车股份有限公司 山东省新能源客车安全与节能重点实验室, 山东 聊城 252000)

摘 要:利用层次分析法对纯电动客车的整车性能指标进行综合评价,解决用户在买车时面对众多性能评价指标的模糊性和不确定性问题,同时有助于客车公司更好地掌握用户需求倾向,对开发新车具有指导意义。

关键词:纯电动客车; 整车性能评价; 层次分析法

中图分类号:U461.99

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2023)01-0006-04

Performance Evaluation System of Vehicle for Pure Electric Buses Based on Analytic Hierarchy Process

ZHAO Hongguang, XUE Shoufei, HAN Guanwen, LIU Lei, YIN Shunyu

(Zhongtong Bus Holding Co., Ltd., Shandong Provincial Key Laboratory of Safety and Energy Conservation of New Energy Buses, Liaocheng 252000, China)

Abstract: This paper comprehensively evaluates the vehicle performance indicators of a pure electric bus by the Analytic Hierarchy Process, which solves the ambiguity and uncertainty of many performance evaluation indicators for users when buying a vehicle. At the same time, this is conducive to the bus company to know the user's demand tendency, which has guiding significance for developing new vehicles.

Key words: pure electric bus; vehicle performance evaluation; Analytic Hierarchy Process

纯电动客车越来越受到消费者的关注,因此需要纯电动客车整车评价体系为消费者的决策提供科学依据^[1]。但实际评价中反映整车性能的评价指标较多,包括动力性、经济性、舒适性等。消费者要从众多评价指标中选取适合的性能指标,并以此确定需购买的车辆是非常困难的。因此建立一个过程明确、结果明晰、可信度高、关联性小、简单实用的纯电动客车的整车性能评价体系非常必要^[2-3]。由于层次分析法过程简单且结果明晰,符合建立整车性能评价体系的要求,因此本文选择层次分析法作为纯电动客车的整车性能评价方法^[4-6]。

1 层次分析法简介

层次分析法是一种定性和定量相结合的分析方法,利用较少的信息将人的主观判断数学化,为复杂的决策问题提供简单的决策方法^[7-8]。通过对多种分析方法的学习比较,发现层次分析法具有以下优点:①系统性。将研究对象作为一个系统,不隔断各个因素对结果的影响,且每层的权重设置最后都会直接或间接影响结果。②便捷性。简单实用的决策方法,既不单纯追求高深数学,也不片面地注重行为、逻辑、推理。③准确性。层次分析法主要是从评价者对评价问题的本质和对评价问题要素的理解出发,比一

收稿日期:2022-07-05。

基金项目:山东省科技攻关项目(2020CGX010406)。

第一作者:赵红光(1971—),男,高级工程师;主要从事客车、校车、物流车等车型技术研发和试验验证等工作。E-mail:zzhghg@126.com。

通讯作者:韩关文(1993—),男,硕士;助理工程师;主要从事客车整车性能试验工作。E-mail:h13655410550@163.com。

般的定量方法更追求定性的分析和判断^[9-10]。

应用该方法可从根本上解决以往整车评价方法中存在的整车定性分析不全面的问题, 帮助消费者在整车性能评价过程中更好地运用整车性能信息, 实现评价过程与思维过程相拟合。

应用层次分析法进行整车综合评价的主要步骤如下: ① 分析整车性能参数, 建立层次结构; ② 构造判断矩阵; ③ 确定评价指标权重; ④ 进行一致性检验。

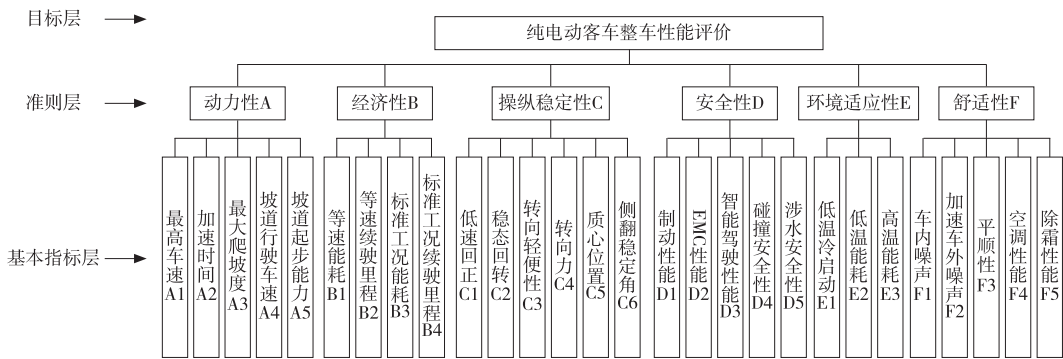


图 1 纯电动客车层次分析法评价结构模型图

2.2 构造判断矩阵

判断矩阵是对两个性能指标相对重要程度的描述, 其元素 N_{ij} 由多位技术专家判断的平均值构成, 元素 N_{ij} 位于矩阵 N (表 2) 的第 i 行第 j 列, 具体取值及含义见表 1。元素 N_{ij} 表示指标 i 相比指标 j 的重要程度, 当 $i=j$ 时, 两个指标相同, 因此记为 1, 即判断矩阵的对角线元素为 1。如专家对因素 B (经济性) 相对于因素 A (动力性) 的重要性平均打分量化值为 4, 则 $N_{12}=4$ 。

表 1 判断矩阵中 N_{ij} 的取值含义

量化值	含义
1	两个指标具有同等重要性
3	前者指标比后者指标稍微重要
5	前者指标比后者指标较强重要
7	前者指标比后者指标强烈重要
9	前者指标比后者指标及其重要
2, 4, 6, 8	两相邻判断的中间值
倒数	两相邻的反比较

本文以我司某款 8 m 纯电动城市客车车型为例,

2 整车层次分析法综合评价

2.1 建立整车性能参数的层次结构

通过分析整车性能参数, 确定目标层、准则层、基本指标层以建立其层次结构。

纯电动客车的整车性能评价模型可分为三层, 如图 1 所示。其目标层评价整车的综合性能; 准则层包括 6 个方面, 即动力性 (A)、经济性 (B)、操纵稳定性 (C)、安全性 (D)、环境适应性 (E)、舒适性 (F) 指标; 基本指标层是组成整车综合性能的各分性能的总体指标层^[11-12], 分别记为 A_1, A_2, A_3 等。

对组成整车性能评价体系所设置的动力性 (A)、经济性 (B)、操纵稳定性 (C)、安全性 (D)、环境适应性 (E)、舒适性 (F) 指标进行两两重要性比较^[13], 可得到表 2 所示的综合性能判断矩阵 N 。

表 2 综合性能判断矩阵 N

矩阵 N	A	B	C	D	E	F
A	1	4	3	6	1/2	1/8
B	1/4	1	1/2	4	1/6	1/9
C	1/3	2	1	5	1/3	1/6
D	1/6	1/5	1/4	1	1/8	1/7
E	2	6	3	8	1	1/2
F	8	9	6	7	2	1

2.3 确定评价指标的权重

由于不同的评价指标和不同的分性能对纯电动客车综合性能的影响程度不同, 因此需先确定评价指标之间的权重分配集 W_i , 具体过程如下。

采用归一法 (即每一个元素除以其所在列的和) 得到表 3 指标归一化数据, 再将矩阵 M 中的各行相加得到集合 $\bar{W}$, 将相加后得到的 $\bar{W}$ 的值除以判断矩

阵阶数即可得到权重分配集 W_i 。

首先将表 2 中的矩阵按照式(1)进行归一化处理,得到表 3 指标归一化数据。

$$M_{ij} = N_{ij} / \sum_{k=1}^n N_{kj} (i, j, k = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$W_i = \bar{W} / n \quad (2)$$

式中 n 为判断矩阵的阶数,本文为 6。根据层次分析法的计算结果,确定各指标的权重分配集 W_i 。

$$\begin{aligned} \bar{W} &= (0.859\ 3 \quad 0.326\ 4 \quad 0.514\ 8 \quad 0.173\ 8 \\ &\quad 1.403\ 6 \quad 2.722\ 1) \\ W_i &= (0.143\ 2 \quad 0.054\ 4 \quad 0.085\ 8 \quad 0.029\ 0 \\ &\quad 0.233\ 9 \quad 0.453\ 7) \end{aligned}$$

表 3 指标归一化数据

矩阵 M	A	B	C	D	E	F
A	0.085 1	0.180 2	0.218 2	0.193 5	0.121 2	0.061 1
B	0.021 3	0.045 0	0.036 4	0.129 0	0.040 4	0.054 3
C	0.028 4	0.090 1	0.072 7	0.161 3	0.080 8	0.081 5
D	0.014 2	0.009 0	0.018 2	0.032 3	0.030 3	0.069 8
E	0.170 2	0.270 3	0.218 2	0.258 1	0.242 4	0.244 4
F	0.680 9	0.405 4	0.436 4	0.225 8	0.484 8	0.488 8

2.4 进行一致性检验

根据特征向量计算方法,该矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$ 为 6.558 4。则一致性指标值 CI 由式(3)计算,式中 n 为判断矩阵的阶数,本文为 6。

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) = 0.111\ 68 \quad (3)$$

一致性系数 $CR = CI / RI$,式中 RI 为随机一致性指标,经查阅^[9] $n=6$ 对应的 $RI=1.26$ 。

$$\text{则 } CR = CI / RI = \frac{0.111\ 68}{1.26} \approx 0.088\ 6 \quad (4)$$

如 $CR < 0.1$,则可接受一致性检验,否则需要对判断矩阵进行修正。计算结果表明,判断矩阵的结果可接受。

因此动力性、经济性、操纵稳定性、安全性、环境适应性、舒适性的权重依次为 0.143 2、0.054 4、0.085 8、0.029 0、0.233 9、0.453 7。

3 确定整车综合性能分性能

根据层次分析法计算出整车综合性能后,同理可

得到基本指标层中各指标对于准则层中相对应的分性能的相对权重值^[13-14]。

最高车速、加速时间、最大爬坡度、坡道行驶车速、坡道起步能力 5 个指标对于准则层中动力性能指标的相对权重值依次为 0.363 9、0.237 5、0.108 3、0.181 9、0.108 3。

等速能耗、等速续驶里程、标准工况能耗、标准工况续驶里程 4 个指标对于准则层中经济性能指标的相对权重值依次为 0.270 8、0.523 7、0.070 1、0.135 4。

低速回正、稳态回转、转向轻便性、转向力、质心位置、侧倾稳定角 6 个指标对于准则层中操纵稳定性指标的相对权重值依次为 0.088 6、0.152 4、0.271 8、0.152 4、0.281 0、0.053 8。

制动性能、EMC 性能、智能驾驶性能、碰撞安全性、涉水安全性 5 个指标对于准则层中安全性能指标的相对权重值依次为 0.067 5、0.233 4、0.423 3、0.166 5、0.109 2。

低温冷启动、低温能耗、高温能耗 3 个指标对于准则层中环境适应性指标的相对权重值依次为 0.141 6、0.333 8、0.524 7。

车内噪声、加速车外噪声、平顺性、空调性能、除霜性能 5 个指标对于准则层中舒适性指标的相对权重值依次为 0.147 6、0.263 9、0.077 2、0.093 4、0.417 9。

在计算得到基本指标层 28 个指标对于准则层中相对应的分性能的相对排序权重值后,根据层次分析法计算就可得到基本指标层 28 个指标对于整车总体性能的相对总权重值 $W = (0.052\ 1, 0.034\ 0, 0.015\ 5, 0.026\ 1, 0.015\ 5, 0.014\ 7, 0.028\ 5, 0.003\ 8, 0.007\ 4, 0.007\ 6, 0.013\ 1, 0.023\ 3, 0.013\ 1, 0.024\ 1, 0.004\ 6, 0.002\ 0, 0.006\ 8, 0.012\ 3, 0.004\ 8, 0.003\ 2, 0.033\ 1, 0.078\ 1, 0.122\ 7, 0.067\ 0, 0.119\ 7, 0.035\ 0, 0.042\ 4, 0.189\ 6)$ 。

纯电动客车的整车总体性能的好坏由式(5)计算确定:

$$H = \sum_{i=1}^n S_i W_i \quad (5)$$

式中: H 为纯电动客车的整车性能总分, $1 \leq H \leq 5$; S_i

为各影响元素的得分值, $1 \leq S_i \leq 5$; W_i 为各影响元素的权重值; n 为影响元素的个数。

最后根据表4评级标准评价得出这款8 m纯电动城市客车的评价结果为良, 可通过最终评价结果与不同车辆进行对比。评价结果与我司技术专家、试验人员、客户的反馈结果相近, 对我司产品的优化提升提供了指导性思路。

表4 评级标准

综合得分	评价级别	综合得分	评价级别
$4 < H \leq 5$	优	$2 < H \leq 3$	中
$3 < H \leq 4$	良	$H \leq 2$	差

4 结束语

本文采用层次分析法对纯电动客车整车性能进行综合评价, 试验对比不同车型的评价得分, 评价结果分为优、良、中、差, 结果单一明确, 方法简单实用, 符合人们的思维习惯, 为消费者购买车辆和制造厂商研发新车型提供了评价依据。

参考文献:

- [1] 王多文. 汽车设计开发中的整车性能评估系统设计研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2016.
- [2] 刘道东, 王铁, 高昱, 等. 汽车整车性能评价方法的研究[J]. 机械科学与技术, 2012, 31(3): 379-383.

- [3] 刘洪思. 电动汽车整车性能评价技术及测试方法研究[J]. 汽车世界, 2019(17): 17.
- [4] 陶鹤, 易燕飞, 白文强. 基于多元统计的汽车性能评价[J]. 决策与信息(下旬刊), 2015(9): 47.
- [5] 杨向前, 王晓慧. 基于模糊评价方法的汽车整车性能评价系统的研究[J]. 中国西部科技, 2012, 11(1): 44-46.
- [6] 韩锋钢, 黄志强, 黄红武, 等. 基于层次量化的旅游客车实物质量评价方法研究[J]. 重庆交通大学学报(社会科学版), 2013, 13(6): 26-28.
- [7] 李传斌. 基于模糊综合评判的汽车制动性能评价[J]. 机械工程师, 2010(1): 76-77.
- [8] 王生昌, 陈娟娟, 田晓雪, 等. 基于层次分析法的汽车制动性能主观评价指标权重研究[J]. 公路交通科技, 2015, 32(8): 138-142.
- [9] 章晓. 模糊数学在投资项目立项中的应用[J]. 商场现代化, 2007(36): 172.
- [10] 张志强, 徐斌, 何勇灵, 等. 基于AHP评价方法的发动机性能评价[J]. 兵工学报, 2008, 29(5): 625-628.
- [11] 赵振东. 车辆高里程NVH性能主观评价的灰色理论预测[J]. 机械设计, 2015, 32(6): 43-46.
- [12] 余志生. 汽车理论: 第3版[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 27-39.
- [13] 崔靖, 周忠川. 汽车综合性能检测[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1999: 46-57.
- [14] 洪平, 刘鹏举. 层次分析法在铁路运营隧道健康状态综合评判中的应用[J]. 现代隧道技术, 2011, 48(1): 28-32.