

基于层次分析法的汽车制动性能评估方法

陈昂¹ 徐路平² 金卢佳³ 杨秀娥⁴

(1 义乌市益中益机动车性能检测有限公司 浙江 金华 322000; 2 衢州星光机动车检测有限公司 浙江 衢州 324000; 3 绍兴越弘车辆检测有限公司 浙江 绍兴 312000; 4 长兴新城机动车排气检测有限公司 浙江 湖州 313100)

摘要: 当前汽车制动性能评估过程中, 往往通过熵值法确定评估指标权重, 忽略了影响因素对评估结果的间接影响, 导致基于该权重得出的评估结果信度较低。因此, 本文应用层次分析法, 设计一种新型汽车制动性能评估方法。深入分析汽车制动状态特点, 建立包含三层结构的制动性能评估指标体系。运用层次分析法逐层比较各个评估指标的重要性, 并结合方根法计算出各指标对应的权重系数。最后, 按照三级评估原理, 确定每个指标的量化评估值, 并汇总得到的汽车制动性能综合评估结果。试验结果表明: 所提方法评估结果的信度为 0.9, 满足汽车制动性能评估准确性要求。

关键词: 层次分析法; 汽车; 制动性能; 指标; 权重系数; 评估;

0 引言

在汽车工业领域不断发展的时代背景下, 驾驶者要求汽车在高速行驶时依旧能够保持较好的安全性^[1], 这也就要求汽车需要拥有良好的制动性能^[2]。通常情况下, 汽车的安全性会随着制动性的提升而提升, 在汽车研发过程中, 需要准确评估汽车制动性能, 并以此为基础进行汽车底盘改进^[3]。但是, 当前人们对汽车制动性能的主观评价体系认识不够深入, 现有的评估方法在实际应用中难以得出准确的评估结果。为了更快突破汽车底盘研发技术, 需要从提升汽车制动性能总体评估的可靠性入手, 设计一种新型评估方法。

本文以解决传统评估方法的不足之处为目标, 提出结合层次分析法的制动性能评估方法。针对汽车制动过程进行分析选择合适的评估指标, 并在层次分析法的辅助下, 逐层分析汽车制动性能评估指标, 并计算每个指标对应的权重系数。根据试验验证结果可知, 该方法应用后可以准确评估出汽车制动性能, 指导汽车底盘改进研发工作。

1 应用层次分析法设计汽车制动性能评估方法

1.1 建立汽车制动性能评估指标体系

首先针对汽车制动状态进行深入分析, 了解该状态下汽车运行特点, 再按照目的性、

全面性、可操作性原则^[4], 多维度选取汽车制动性能定量评估评估指标, 建立包含目标层、准则层和方案层的评估指标体系, 作为汽车制动性能评估的基础。在所有评估指标选取完成后, 形成图 1 所示的体系结构。

如图 1 所示, 汽车制动性能评估指标体系的准则层包含六项指标, 分别是制动稳定性、制动踏板、



图 1 汽车制动性能评估指标体系

制动舒适性、制动减速度、制动热稳定性和制动操纵性,而前三项指标又可以继续细分^[5],使得方案层最终存在12项评估指标。考虑到每项评估指标的量纲不同,无法进行统一对比,在汽车制动性能评估指标体系建立完成后,需要采用归一化模糊处理策略处理各项指标,使得各差异化评估指标表达量纲相同。归一化处理完成后,应用指标体系进行汽车制动性能评估研究。

1.2 基于层次分析法计算指标权重

考虑到性能评估过程中涉及的指标众多,在利用指标体系进行评估前,先确定每个评估指标对应的权重系数。为了保证权重赋值更加合理,文中应用层次分析法进行指标权重计算^[6]。逐层分析制动性能评估指标,对于指标进行两两对比,分析评估指标的相对重要程度,并形成可用于定量分析的判断矩阵。

$$\eta = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & L & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & L & a_{2n} \\ M & M & O & M \\ a_{n1} & a_{n2} & L & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: η — 判断矩阵;

a — 相对重要度;

n — 汽车制动性能评估指标数量。

在同一层次内选择一个评估指标,与其他评估指标进行对比,当相对重要程度计算结果越大,表明当前选择的评估指标相比其他指标更加重要。但当相对重要程度计算结果为1时,表明对比的两个指标同等重要。按照上述分析模式,对每层评估指标分别构造判断矩阵,并将判断矩阵看作指标权重系数计算的关键参数。

为了便于完成汽车制动性能评估,文中提出应用层次分析法,针对准则层和方案层各评估指标计算其权重值,以此来描述各评估指标的重要性。在确定权重系数时,需要先采用方根法,计算每一层汽车制动性能评估指标的最大特征根、特征向量^[7],并以此为基础对所有评估指标进行排序。而后,将所有汽车制动性能评估指标,分别描述为指标向量,与判断矩阵相结合可得到最大特征根值计算结果。

$$g_{\max} = \eta \times W = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & L & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & L & a_{2n} \\ M & M & O & M \\ a_{n1} & a_{n2} & L & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ M \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $g_{\max}$ — 最大特征根值;

W — 指标向量集;

w — 评估指标对应的特征向量。

此时,特征向量取值即为指标权重系数。以准则层评估指标集合为例,构建其对应的判断矩阵后,计算出特征向量指标的 n 次方根,并对该计算结果进行归一化处理,即可得到当前评估指标的特征向量。

$$W = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i} \quad (3)$$

式中: i — 评估指标;

$\bar{w}$ — 归一化处理后的 n 次方根。

以公式(3)为基础,可以将最大特征根计算公式进行简化。通过上述计算得出各性能评估指标的权重系数,并以此为基础计算综合制动性能评估值。

1.3 构建三级综合制动性能评估方案

通过层次分析法确定所有评估指标的权重后,从最底层的方案层入手,得到每个指标的汽车制动性能评估值,并汇总获取方案层综合评估值。

$$\varphi = W \times F \quad (4)$$

式中: φ — 方案层综合评估值;

F — 方案层各指标的归一化模糊评估值。

确定方案层评估值后,将其代入准则层,得到每个准则层指标的评估值。以制动稳定性指标为例,该指标评估值的计算,需要考虑直线制动、对开路面、弯道制动三个方向稳定性,将评估值计算公式表示为:

$$S_1 = \varphi_1 \times w_1 + \varphi_2 \times w_2 + \varphi_3 \times w_3 \quad (5)$$

式中: S_1 — 制动稳定性评估值;

w_1 、 w_2 、 w_3 — 指标权重;

φ_1 、 φ_2 、 φ_3 — 直线制动、对开路面、弯道制动方向稳定性评估值。

同理可得出准则层内其他指标评估结果,结合每项评估指标的权重系数,即可获取汽车制动性能综合评估结果。

2 试验

由于文中设计评估方法应用了层次分析法,与其他汽车制动评估方法之间存在极大不同。为了验证该评估方法符合预期要求,需要进行试验测试。

2.1 试验准备

以某驾校的练车区域作为试验场地,该场地的

地面均铺设了普通混凝土，并人工布置了一段湿滑路面区域，用以模拟不同汽车行驶环境。经过现场测试可知，正常路面和湿滑路面的附着系数，分别为 0.4 和 0.6，选用赛欧 SCX 品牌的汽车作为试验车辆，驱动车辆在试验场地行驶，并不时处于制动状态。

为了保证汽车制动性能评估指标权重计算结果更加合理，在试验准备阶段邀请了三位汽车领域专业工程师，分别对每项性能评估指标进行评分，并构造出判断矩阵，比较同一层次不同指标的重要程度。针对每位工程师的评分，计算出一个指标权重值，取三个权重的平均值作为该制动性能评估指标的最终权重，具体计算结果如表 1 所示。

由表 1 可知，汽车制动性能评估指标体系准则层中，指标权重系数最大值为 0.38，是制动减速度指标，这表明该指标最为重要，随后是制动稳定性和制动操纵性，二者的权重值分别为 0.18 和 0.170。其后紧随的是权重系数为 0.16 的制动热稳定性指标。

2.2 制动性能评估结果分析

试验操作过程中，分别求出准则层每个评估指标的具体得分，并绘制图 2 所示的蜘蛛图。

根据图 2 可知，试验车辆在试验场地进行制动处理时，几项准则层指标的评估值，分别为 7.5、7、5.3、7、6 和 6，与各个指标的权重系数相结合，求出汽车制

动性能综合评分为 0.665，大于预先设置的阈值 0.5，表明当前汽车的制动性能符合要求。

通过上述研究可知，应用所提方法可以评估出汽车制动性能，表明了该评估方法的可行性。为

表 1 制动性能评估指标权重统计表

准则层	权重	方案层	权重
制动稳定性	0.18	直线制动方向稳定性	0.06
		对开路面方向稳定性	0.07
		弯道制动方向稳定性	0.05
制动踏板	0.06	制动踏板力需求	0.02
		制动踏板感觉	0.01
		ABS 系统的踏板反馈	0.01
		踏板运动	0.01
制动舒适性	0.05	制动俯仰	0.02
		制动震颤	0.03
		制动噪音	0.02
制动减速度	0.38	制动减速度	0.34
制动热稳定性	0.16	制动热稳定性	0.18
制动操纵性	0.17	制动操纵性	0.18

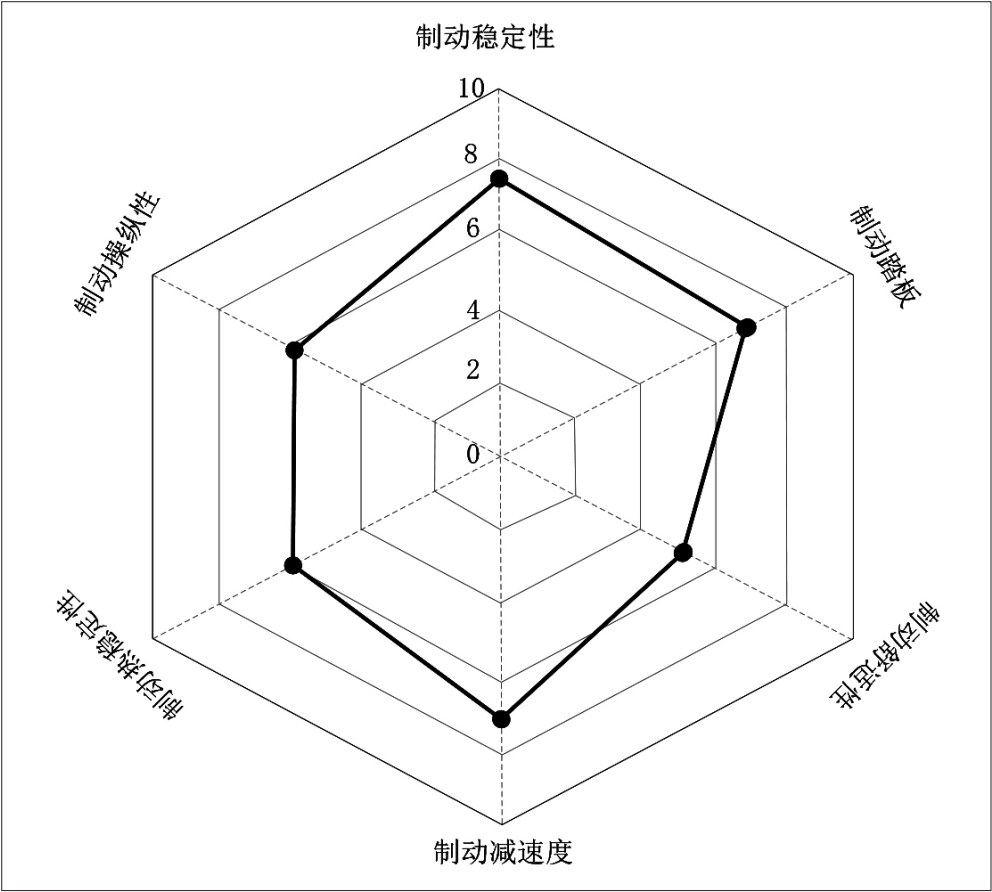


图 2 汽车制动性能评估蜘蛛图

了进一步测试所提方法的优越性，选取基于模糊综合评估方法、基于证据理论方法作为对照组。在相同的试验环境下，运用三种方法重复进行多次汽车制动性能评估，并计算不同方法评估结果的信度，从而考察评估方法的可靠性。信度计算公式为：

$$\begin{cases} K_1 = \frac{\psi}{\psi - 1} (1 - \sum_{v=1}^{\psi} \frac{\tau_v^2}{\tau_{\psi}^2}) = 0.90 \\ K_2 = \frac{\psi}{\psi - 1} (1 - \sum_{v=1}^{\psi} \frac{\tau_v^2}{\tau_{\psi}^2}) = 0.72 \\ K_3 = \frac{\psi}{\psi - 1} (1 - \sum_{v=1}^{\psi} \frac{\tau_v^2}{\tau_{\psi}^2}) = 0.68 \end{cases} \quad (6)$$

式中： k_1 — 所提方法信度；
 k_1 、 k_3 — 基于模糊综合评估方法、基于证据理论方法的信度；
 ψ — 总评估次数；
 τ — 得分方差；
 v — 单次评估。

根据公式（6）计算结果可知，所提方法的汽车制动性能评估结果信度值为 0.9，而其他两种传统评估方法的信度值分别为 0.72、0.68。综上所述，所提方法与其他方法相比，信度值分别提升了 20%、24%。通过试验测试可以看出，在汽车制动性能评估过程中应用层次分析方法，可以得到可靠的评估结果，在后续汽车底盘改造研究过程中，发挥更好的辅助作用。

3 结语

随着购买汽车的人群不断增长，人们对汽车的行驶安全性提出了更高要求，而制动性能是决定汽车行驶安全的关键。文中参考传统制动性能评估方法，并了解这些方法的不足之处，提出应用层次分析法的新型评估方法。在建立多层次性能评估指标体系后，通过层次分析处理计算每个指标的权重系数，再经过三级计算得出综合评估值。从试验测试结果可以看出，该方法的应用可以得出可靠性较高的性能评估结果，指导汽车厂家研发出性能更好的车辆。

参考文献：

[1] 李小强. 汽车盘式制动器的结构及其制动性能评价分析[J]. 机械管理开发, 2022, 37 (11): 285-287.

[2] 郝孟军, 梅容芳, 宫涛, 等. 汽车制动系统性能影响因素的分析[J]. 时代汽车, 2022 (12): 191-192.

[3] 李改灵, 黄韬, 张超. 基于可拓物元法的车辆动力学性能主观评价[J]. 汽车实用技术, 2022, 47 (06): 94-99.

[4] 谢静. 基于计算机模拟的汽车制动性能分析与试验验证探究[J]. 中国新技术新产品, 2022 (01): 34-36.

[5] 蒋一春, 夏海峰. 乘用车制动标准对汽车制动性能的评价[J]. 时代汽车, 2021 (04): 180-182.

[6] 陈清华, 朱治钢. 汽车制动性能检测方法的比较与分析探究[J]. 内燃机与配件, 2020 (13): 144-145.

[7] 应之丁, 樊嘉慧, 吴晓倩. 基于车辆滚动制动试验台的轨道交通列车动态制动性能试验研究[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24 (01): 26-30.