

基于灰色模糊模型的汽车制动性能评价方法

潘跃华¹ 俞碧霞² 刘晓³ 朱振军⁴

(1 金华市中宇车辆综合检测有限公司 浙江 金华 321000; 2 诸暨市汽车综合性能检测有限公司 浙江 绍兴 311800; 3 龙游县安驿机动车检测有限公司 浙江 衢州 324400; 4 东阳市横店机动车综合检测有限公司 浙江 金华 322118)

摘要: 在对汽车的制动性能进行评价时, 计算量过大导致性能评价的准确率较低, 对此, 本文研究基于灰色模糊模型的评价方法, 通过对评价指标的分析, 建立了评价指标体系。为构建完善的指标体系, 本文利用熵值法对指标权重进行计算, 根据权重计算结果, 建立基于灰色模糊评价模型的评价方法。实验结果表明, 本文评价方法的评价精准度最高可以达到 98%, 评价时间最长为 8.67s, 能够有效地进行汽车制动性能评价, 具有实用性。

关键词: 汽车制动性能; 信息熵; 差异性系数; 灰色模糊模型

0 引言

汽车是社会发展的象征, 尤其在经济和社会快速发展过程中, 给人类的出行带来了巨大的便利, 目前已经成为人们工作、生活中的重要交通工具。随着汽车需求的不断增强, 汽车工业得到快速发展, 与此同时汽车的安全问题受到了广泛关注。其中, 汽车制动性能对汽车的运行安全有着重要影响, 因此其关注度较高。在汽车的运行中, 汽车生产技术和制造技术会对汽车的各项性能产生重要影响。汽车的使用年限越长, 技术参数就会向着变坏的方向改变发展, 所以汽车的各项性能也会变差, 从而事故率就会增加。通过以往交通事故的统计可以发现, 汽车制动问题导致的交通事故, 大约占事故总数的 1/3, 这个比例是较大的。

当前人们从自身安全角度出发, 越来越关注车辆行驶安全, 同时也非常重视相关的评判标准。汽车制动性能会给道路安全产生重要影响, 而目前国内提出的汽车制动性能的基本要求, 不能完全满足人们的需求。相关学者进行了有关研究, 蒋一春等研究了乘用车制动标准对汽车制动性能的评价^[1], 通过分析我国乘用车制动相关标准, 对其制动性能进行评价; 陈彬等研究了手动档汽车的起步性能评价方法和试验方式^[2], 对汽车的起步性能进行了客观和全面的评估, 并对影响驾驶性能的因素和起步辅助控制的因素进行了分析。但上述方法在进行性能评价时, 计算量过大, 导致性能评价的准确率较低, 对此, 本文研究基于灰

色模糊模型的汽车制动性能评价方法。

1 评价指标的确定

1.1 评价指标分析

汽车制动性能是指车辆在行驶过程中可以强行减速, 下面对其评估指标进行详细分析。

1.1.1 制动效能

1.1.1.1 制动减速度

制动减速度^[3]表示在刹车过程中每小时车辆的速度变化。平均制动减速度表达式如下:

$$MFDD = \frac{(u_b^2 - u_e^2)}{25.92(S_e - S_b)} \quad (1)$$

式中: u_b - 0.8 u_0 车速;

u_0 - 起始车速;

u_e - 0.1 u_0 车速;

S_b - u_0 到 u_b 车辆经过的距离;

S_e - u_0 到 u_e 车辆经过的距离。

1.1.1.2 制动距离

制动距离^[4]是指车辆在行驶中达到某一速度时, 踩下踏板直至停车所经过的距离。其表达式如下:

$$S = \frac{u_{a0}}{3.6} \left(\tau_2' + \frac{\tau_2''}{2} \right) + \frac{u_{a0}^2}{25.92a_{b\max}} \quad (2)$$

式中: τ_2' - 制动器滞后时间, 即踩下制动踏板时, 克服的回位弹簧力, 以及消除制动间隙所需要的时间;

τ_2'' - 制动器动力增长所需的时间;

μ_{a0} - 起始制动速度;

a_{bmax} - 制动减速度, 如果前后轮同时抱死, 则

$$a_{bmax} = \phi_b g。$$

1.1.1.3 制动力

地面制动力表达式如下:

$$F_x = \frac{T_\mu}{r} \quad (3)$$

制动器制动力表达式如下:

$$F_\mu = \frac{T_\mu}{r} \quad (4)$$

式中: F_x - 汽车制动时地面作用于车轮的外力;

T_μ - 制动器对车轮产生的作用及制动力矩;

r - 车轮半径。

1.1.1.2 制动效能的恒定性

制动效能的恒定性是指抗热衰退性能、抗水衰退性能。

(1) 抗热衰退性能: 汽车高速行驶或下长坡持续制动时制动效率维持的水平。

(2) 抗水衰退性能: 汽车涉水以后对制动性能的维持水平。

1.1.1.3 制动时汽车的方向稳定性

制动时汽车的方向稳定性是指制动时汽车不发生跑偏、侧滑以及失去转向能力的性能。

(1) 制动跑偏: 左右轮的刹车制动功率不均衡, 特别是前轮, 导致制动跑偏。

(2) 制动侧滑: 车辆在制动过程中轴出现横向滑动的现象。

(3) 失去制动转向能力: 在转弯刹车时, 不按原有的方向行驶而是会在前方沿直线行驶, 或者在正常行驶时转向盘无法转向。

1.2 建立完善的汽车制动性能评价指标体系

基于上述指标分析, 建立汽车制动性能评价指标体系, 见表 1。

2 指标权重计算

评价指标信息越小, 那么目标决策的综合评判作用就应越大, 当然权重系数也越大^[5]。熵值法可以较好地反映评估指标的效用, 因此, 本文将应用于评估指标的权重计算。计算步骤如下:

(1) 构建判断矩阵 R 。

$$R = (x_{ij})_{m \times n} \quad (5)$$

表 1 汽车制动性能评价指标体系

目标层	一级指标	二级指标
汽车制动性能评价	制动效能 (A)	制动减速度 (A1)
		制动距离 (A2)
		制动力 (A3)
	制动效能的恒定性 (B)	抗热衰退性能 (B1)
		抗水衰退性能 (B2)
	制动时汽车的方向稳定性 (C)	跑偏 (C1)
		侧滑 (C2)
		制动转向能力 (C3)

式中: i - 第 i 个评价方案, 取 $i=1,2,3 \dots, m$;

j - 第 j 个评价指标, 取 $j=1,2,3 \dots, n$;

x_{ij} - 第 i 个评价方案, 以及第 j 个评价指标的具体实测值;

m - 待评价方案的个数;

n - 评价方案的具体指标数。

(2) 判断矩阵 $(x_{ij})_{m \times n}$ 的线性比例以及变换法处理, $y_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^*} (1 < i < m, 1 < j < n)$ 这里为指标越大越优型, $x_j^* = \max_{1 < i < m} x_{ij}$ 或 $y_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^*} (1 < i < m, 1 < j < n)$ 这里为指标越小越优型, $x_j^* = \min_{1 < i < m} x_{ij}$ 。

(3) 各指标同度量化, 比重 p_{ij} 有:

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \quad (6)$$

(4) 计算第 j 项评价指标的熵值:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (7)$$

式中: k - 与 m 有关的常数, $k > 0$;

\ln - 自然对数。

由式 (7) 可得:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \ln \frac{1}{m} = k \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \ln m = k \ln m = 1 \quad (8)$$

于是得到:

$$k = \frac{1}{\ln m} \quad (9)$$

式 (8) 中满足 $0 \leq e \leq 1$ 。

(5) 计算第 j 项评价指标的差异性系数 g_j :

$$g_j = 1 - e_j (1 < j < n) \quad (10)$$

g_j 越大, 评价指标越重要。

(6) 熵值法调整, 基于上述步骤, 利用归一化处理计算出权重:

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j}, j=1,2,3 \dots n \quad (11)$$

基于上述内容完成指标权重计算。

3 灰色模糊评价模型的建立

基于模糊灰色模型的汽车制动性能评价步骤如下：

第一步，根据上文建立评价指标体系，可以将一级指标表示为 $T=[A,B,C]$ ，二级指标表示为 $A=[A1,A2,A3]$ ， $B=[B1,B2]$ ， $C=[C1,C2,C3]$ 。

第二步，划分评语集，将指标划分为十个级别：极差 (1)、很差 (2)、差 (3)、较差 (4)、一般 (5)、一般好 (6)、较好 (7)、好 (8)、很好 (9)、极好 (10)，并请专家进行评分，评价分值为所有专家打分的均值，根据打分均值将评语集 V 划分为 $V=\{V_1,V_2,V_3\}$ ，各评价指标的分值越高，代表指标等级越高，其中划分等级如表 2 所示。

表2 汽车制动性能评价等级

风险等级	定义	分数区间
V_1	一星级 (一般)	[1 ~ 4]
V_2	二星级 (量化)	[5 ~ 7]
V_3	三星级 (优秀)	[8 ~ 10]

第三步，权重确定。基于上文的计算，算出每个指标的权重值。得到权重集合 $W=\{W_1,W_2,W_3,W_4,W_5,W_6,W_7,W_8\}$ 。

第四步，计算灰色评估权，建立权矩阵。对于二级评价指标，运用三角白化权函数来确定对应的灰色评价系数 X_{ijk} ，对于评价灰类所对应的灰色系数，则有 $X_{ij} = \sum_{k=1}^3 X_{ijk}$ ，各个指标的对应 k 灰类和灰色评估权是 $r_{ijk} = \frac{X_{ijk}}{X_{ij}}$ 。

二级指标的对应灰色权矩阵是：

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i13} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i23} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{ij1} & r_{ij2} & \dots & r_{ij3} \end{bmatrix} \quad (12)$$

二级指标所对应的权矩阵是 B_{ij} ，则有：

$$B_{ij} = [W_{ij}] \times R_{ij} \quad (13)$$

得出一级指标灰色和评价权矩阵是 R ：

$$R = B_{ij} = \begin{bmatrix} B_{11} \\ B_{12} \\ \dots \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{111} & r_{112} & \dots & r_{115} \\ b_{121} & r_{122} & \dots & r_{125} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{1s1} & r_{1s2} & \dots & r_{1s3} \end{bmatrix} \quad (14)$$

第五步，综合评价情况分析。汽车的制动性能综

合评价结果：

$$B = W_i \times R = (b_1, b_2, b_3) \quad (15)$$

得到综合评价集合 $B=(b_1,b_2,b_3)$ ，同时也代表了灰类当中的评价等级，因此选取了对应评价等级，这样才能更好地完成制动性能评价。

4 实验分析

4.1 实验环境

本文基于灰色模糊模型，对汽车制动性能评价进行研究，为验证本文方法是否满足应用需求，选用长安 CS75 车型为实验对象进行制动性能实验仿真测试。为测试本文方法在汽车制动性能评价上的实现效果，本文进行汽车制动性能的测试。为了验证本文方法的有效检测情况与检测时间效率，整个实验都需要在性能强大的服务器上完成，服务器的硬件环境为：5TG 的内存、NVIDIA RTX 2080Ti 12G 的显卡；服务器的软件环境为：Python 4.8 的代码编写软件平台、Windows10 操作系统。实验对象如图 1 所示，测试车辆参数如表 3 所示。



图1 实验对象

4.2 汽车制动性能评价计算

基于上文建立的汽车制动性能评价指标体系，利用上文的指标权重计算方法对长安 CS75 进行汽车制动性能权重计算，计算结果见表 4。

4.3 汽车制动性能评价精准度对比结果

为了充分验证方法的有效性，与文献 [1] 和文献 [2] 的方法进行比较，选取普适性较强的评价精准度作为此次测试的实验指标。精准度 J_z 是正确划分汽车制动性能评价的数量与预测为正常汽车制动性能评价数量的比值。表达式如下：

$$J_z = \frac{TP}{TP + FP} \quad (16)$$

式中： TP - 正确划分汽车制动性能评价的数量；

表3 长安CS75车辆参数

配置	参数
发动机	1.5T/L4/180 马力
前轮距	前轮距 (mm)
后轮距	后轮距 (mm)
车重	车重 (kg)
前制动器类型	通风盘式
后制动器类型	盘式
驻车制动类型	电子驻车
前轮胎规格	225/65 R17
后轮胎规格	225/65 R17

表4 汽车制动性能评价指标权重

目标层	一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重
汽车制动性能评价	A	0.456	A1	0.168
			A2	0.113
			A3	0.175
	B	0.293	B1	0.192
			B2	0.101
	C	0.251	C1	0.097
			C2	0.104
			C3	0.050
	合计		1	

FP - 异常的汽车制动性能评价的数量。

测试结果如图2所示。由图2可知，本文方法的汽车制动性能评价精准度最高为98%，且本文方法的汽车制动性能评价精准度均高于90%，文献[1]方法的汽车制动性能评价精准度最高为69%，文献[2]方法的汽车制动性能评价精准度最高为77%。本文方法的汽车制动性能评价精准度明显高于对比方法，具有有效性。

4.4 汽车制动性能评价时间对比结果

为进一步验证本文方法的实用性，以评价时间作

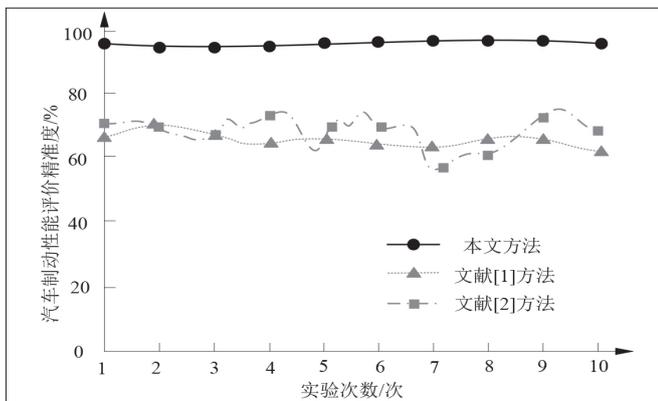


图2 三种方法的汽车制动性能评价精准度对比

为实验指标，进行对比测试，测试结果如图3所示。

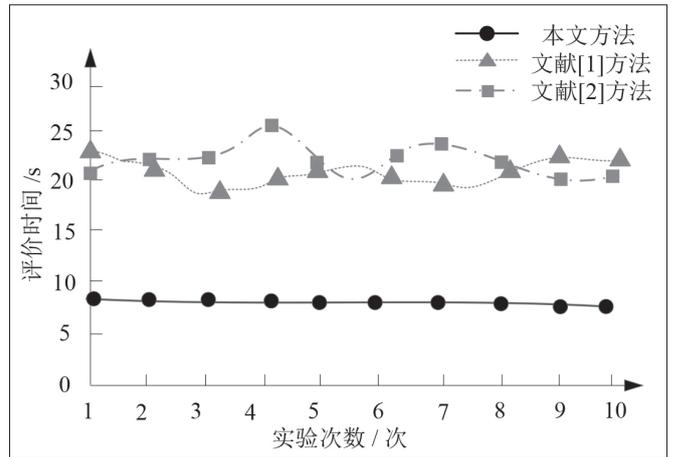


图3 三种方法评价时间对比

由图3可知，本文方法的评价时间最长为8.67s，且本文方法的评价时间最低达到8.82s，文献[1]方法的评价时间最长为22.75s，文献[2]方法的评价时间最长为25.08s。本文方法的评价时间明显低于对比方法，具有实用性。

5 结语

本文研究的基于灰色模糊模型的汽车制动性能评价方法，是通过对制动性能评价指标分析，建立汽车制动性能的评价指标体系，然后利用熵值法计算评价指标，并建立灰色模糊评价模型，以及汽车制动性能评价的具体方法。根据实验结果可以表明，本文使用的方法对汽车制动性能评价具有很高的精准度，最高可以达到98%，评价时间最长是8.67s，能够很好地完成制动性能评价，具有非常好的实用性。

参考文献:

[1] 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, 18(04): 180-182.

[2] 陈彬, 朱省会, 韩浩廷, 等. 手动档汽车起步性能评价方法与试验研究[J]. 测试技术学报, 2021, 35(05): 398-402.

[3] 刘德涛. 汽车制动性能主要检测方法分析[J]. 内燃机与配件, 2021, 42(05): 140-141.

[4] 赵准, 栗晋杰, 高世龙. 基于C-NCAP的室内整车灯光性能评价[J]. 照明工程学报, 2022, 33(04): 23-29.

[5] 冯殿军. 轻卡AMT变速器中间轴制动器关键参数及性能试验方法研究[J]. 汽车实用技术, 2021, 46(16): 82-85+90.