

车内噪声综合烦躁度模糊综合评价

王岩松, 刘宁宁, 郭辉, 王孝兰

(上海工程技术大学汽车工程学院, 上海 201620)

摘要: 以车内噪声为研究对象, 研究了声品质的主观模糊综合评价方法。根据汽车车内噪声测量标准设计噪声采集方案, 对平稳和非平稳车内噪声进行了数据采集、信号预处理, 建立噪声样本数据库。采用参考语义细分法对四款汽车车内噪声的综合烦躁度进行主观评价试验研究, 基于主观评价试验结果和模糊综合算法, 建立了综合烦躁度模糊综合评价模型, 可以计算出整车噪声综合烦躁度总值。结果表明不同车型有其自身的声品质特征。所提出的方法可用于实施不同车辆的声品质比较和评判。

关键词: 车内噪声; 综合烦躁度; 参考语义细分法; 模糊综合评价

中图分类号: TB533.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2015)-05-0437-07

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2015.05.011

Fuzzy comprehensive evaluation for comprehensive annoyance of vehicle interior noise

WANG Yan-song, LIU Ning-ning, GUO Hui, WANG Xiao-lan

(School of Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering and Science, Shanghai, 201620, China)

Abstract: Aiming at the vehicle interior noise, a fuzzy comprehensive method for subjective sound quality evaluation is investigated. According to the measurement standards of vehicle interior noise, a noise acquisition scheme is designed for measuring both the stationary and nonstationary interior noises of sample vehicles. The measured and pre-processed noise signals are saved in a vehicle noise database. The anchored semantic differential method is used to subjectively evaluate the interior noise annoyances of four types of vehicles. Furthermore, based on the evaluated results and the fuzzy comprehensive algorithm, a fuzzy comprehensive annoyance evaluation model is established, which can directly provide a total value of annoyance of a whole vehicle. The results show that different types of vehicles are working in different sound quality characteristics. The proposed method is a reference for synthetical judgment and comparison of vehicle sound qualities.

Key words: vehicle interior noise; comprehensive annoyance; anchored semantic differential method; fuzzy comprehensive evaluation

0 引言

车内噪声是影响驾驶员和乘客的舒适性、听觉损害程度、语音清晰度以及对车外各种音响讯号识别能力的主要因素, 因此车内噪声的声品质成为人们评价和选购汽车的重要指标之一。声品质的好坏程度需要经过评价将其量化, 评价方法主要有主观评价和客观评价。虽然近年来, 基于声品质的客观评价方法获得了长足的发展, 评价的效率提高且成本降低, 但声品质的客观评价仍然不能替代主观评价, 主观评价结果才是对声品质的真实反映^[1]。国

外经过半个多世纪的研究, 运用排序法、等级评分法、成对比较法、语义细分法^[2-6]等众多方法在车辆噪声的主观评价实验中得到了较好的结果。我国多个院校的学者对这些方法也进行了研究并提出了一些改进的方法, 例如分组成对比较法、参考语义细分法^[7-11]。这些方法研究的都是对单个噪声样本的评价, 但车内整体的声环境受到不同工况、不同类型和不同位置噪声的影响, 而不同条件下的噪声对整车声品质的影响程度也不相同, 所以, 要对整车内噪声的声品质做出评价, 就必须把这诸多条件下的噪声评价综合起来加以考虑。

模糊综合算法在声品质评价主客观评价中也早有应用^[12,13]。但这种应用在现有的评价方法之中, 得到的结果同样是单个噪声样本的评价值。本文基于参考语义细分法对 4 辆车内各种条件下的 156 个噪声样本进行主观评价的结果, 结合模糊综合算法建立整车的综合烦躁度综合评价模型。模型在综

收稿日期: 2015-02-09; 修回日期: 2015-04-23

基金项目: 国家自然科学基金(51175320)、上海市自然科学基金(14ZR1418600)资助项目、上海高校东方学者项目

作者简介: 王岩松(1971-), 男, 辽宁锦州人, 教授, 研究方向为车辆 NVH 测控技术。

通讯作者: 刘宁宁, E-mail: liuningning@163.com

合不同工况的评价值得到不同位置的声品质综合价值的基础上,再综合不同位置的评价值得到整车的声品质评价总值。根据结果可以比较每辆车不同位置或者不同车辆之间的声品质优劣。

1 主观评价方法

评价方法的设置决定了评价结果的有效性和准确性。车内噪声的主观评价试验采用参考语义细分法。语义细分是提供一些极性化形容词描述噪声样本让评价者选择,这些形容词意义相反,比如,愉悦—烦恼,平滑—粗糙,低沉—响亮等,再在这些形容词之间设置 5 个、7 个或者更多的均匀的等级区间,使评价结果参考价值更大。为使试验对于评价者更容易进行和结果一致性更好,加入一个参考样本作为已知的评价标准。在试验中采用参考样本与每个待评价的样本组合成评价对,先后播放这两个样本,评价者根据需要评价的声样本相对于参考样本的区别,做出主观评价判断。这种方式称作参考语义细分法^[14]。描述噪声样本的形容词设计上并不和上述相同,而是选择了一些描述综合烦躁度递增程度的形容词,如表 1 所示。主观评价后根据形容词的赋值替代,统计分析即可得到数值结果用于客观分析。

表 1 参考语义细分法综合烦躁度评价词汇及赋值
Table 1 Words and values of comprehensive annoyance used in Anchor Semantic Differential method

描述形容词	愉悦	不烦躁	可接受	一般	比较	非常	极度
				烦躁	烦躁	烦躁	烦躁
分值	1	2	3	4	5	6	7

声品质的主观评价量有综合性评价指标,例如烦恼度、偏好性、低沉度等,还有单一的评价量,例如响度、尖锐度、粗糙度等。本文的主观评价指标定义为综合烦躁度,是由一些基本听觉感受量如声压级、响度、尖锐度、粗糙度、抖动度等共同影响的结果,是评价产品噪声声品质特征的指标。

2 模糊综合评价法

模糊评价法是以美国控制论学者扎德创建的模糊数学理论为基础,应用模糊分析的方法,按照给定的条件对受到多个因素影响的研究对象的优劣进行全面评比、判定的一种多因素决策方法^[15]。其中的模糊逻辑是通过使用模糊集合来工作的,这是一种精确解决不精确、不完全信息的方法,用这种方法最大的好处就是可以比较自然地处理人类

思维的主动性和模糊性。而综合评价是对多种属性的事物,或者说其总体优劣受多种因素影响的事物做出一个能合理地综合这些属性或因素的总体评判。因此,只有对这诸多因素的影响进行综合,才能对研究对象做出合理的评价,但通常情况下评判都会涉及模糊因素,所以应用模糊数学的方法进行评判是一种可行的也是一种很好的方式^[16]。

2.1 评价指标确定

噪声主观评价试验得出每个噪声样本的评价值,利用模糊综合评价法得到该位置或整车的声品质综合价值。因此,模糊综合的评价指标是指各位置和各工况。汽车车内噪声采集实验中,噪声采集设在 3 个位置:驾驶员位、副驾驶位、后排左乘客位,工况设置平稳信号有 8 个匀速;非平稳信号有 50~120 km/h 全油门加速、60 km/h 制动、80 km/h 制动、怠速(在本文中设置为非平稳信号)。主观评价时 50~120 km/h 全油门加速噪声信号分别从开始部分和结束部分截取了两段噪声样本。根据上述实验的设置,可以把模糊综合评价的指标定义如表 2 所示。

表 2 车内噪声模糊综合评价指标体系定义
Table 2 Definition of fuzzy comprehensive evaluation indices for vehicle interior noise evaluation

综合评价	一级指标	二级指标	三级指标
整车	驾驶员位 U_1	平稳信号 U_{11}	匀速 30 U_{111} ; 匀速 40 U_{112} ; 匀速 50 U_{113} ; 匀速 60 U_{114} ; 匀速 70 U_{115} ; 匀速 80 U_{116} ; 匀速 90 U_{117} ; 匀速 100 U_{118}
		非平稳信号 U_{12}	加速前 U_{121} ; 加速后 U_{122} ; 制动 60 U_{123} ; 制动 80 U_{124} ; 怠速 U_{125}
	副驾驶位 U_2	平稳信号 U_{21}	匀速 30 U_{211} ; 匀速 40 U_{212} ; 匀速 50 U_{213} ; 匀速 60 U_{214} ; 匀速 70 U_{215} ; 匀速 80 U_{216} ; 匀速 90 U_{217} ; 匀速 100 U_{218}
		非平稳信号 U_{22}	加速前 U_{221} ; 加速后 U_{222} ; 制动 60 U_{223} ; 制动 80 U_{224} ; 怠速 U_{225}
	后排左乘客位 U_3	平稳信号 U_{31}	匀速 30 U_{311} ; 匀速 40 U_{312} ; 匀速 50 U_{313} ; 匀速 60 U_{314} ; 匀速 70 U_{315} ; 匀速 80 U_{316} ; 匀速 90 U_{317} ; 匀速 100 U_{318}
		非平稳信号 U_{32}	加速前 U_{321} ; 加速后 U_{322} ; 制动 60 U_{323} ; 制动 80 U_{324} ; 怠速 U_{325}

2.2 模糊综合评价流程

(1) 确定评价指标集

根据表 2 可确立:主观评价总值 U ; 3 个一级评价指标 $U=\{U_1, U_2, U_3\}$; 6 个二级评价指标

$U_{ij}=\{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ij}\}$ ；39 个三级评价指标 $U_{ijm}=\{U_{ij1}, U_{ij2}, \dots, U_{ijm}\}$ 和 $U_{ijn}=\{U_{ij1}, U_{ij2}, \dots, U_{ijn}\}$ 。其中， $i=1, 2, 3$ ； $j=1, 2$ ； $m=1, 2, \dots, 8$ ； $n=1, 2, \dots, 5$ 。

(2) 确定评价指标值

车内噪声的综合烦躁度主观评价虽然是定性的，但是可由声品质主观评价参考语义细分法得到噪声样本的主观评价定值，即第三级评价指标值。

(3) 建立权重集

权重值采用层次分析法确定。这是一种常用的多属性决策方法，能够将定性问题定量化，统一处理决策中的定性、定量因素^[17]。根据车内噪声模糊综合评价指标体系的定义，一级评价指标权重集为 $w=\{a_1, a_2, a_3\}$ 。二级评价指标权重集为 $w_1=\{b_1, b_2\}$ 。二级评价指标均有相同的两种三级评价指标，权重集为 $w_2=\{c_1, c_2, \dots, c_8\}$ 和 $w'_2=\{d_1, d_2, \dots, d_5\}$ 。

层次分析法中，引入了 1~9 比率标度法如表 3 所示，综合判断各指标相对于总目标重要程度的总排名和两两比较每一级中各指标相对于上一级的重要程度，构造出判断矩阵，根据判断矩阵计算出各指标的权重。在进行综合评价试验时，邀请具有一定声学知识的主观评价人员按照自身经验、感受和主观评价试验做调查问卷，根据问卷结果构造判断矩阵。

表 3 判断矩阵标度及其含义

Table 3 Explanation of judgment matrix scale

标度值	含义	标度值	含义
1	A_j 与 A_i 重要性相同	3	A_j 与 A_i 稍微重要
5	A_j 与 A_i 明显重要	7	A_j 与 A_i 强烈重要
9	A_j 与 A_i 极端重要	2, 4, 6, 8	相邻等级中间值

为使权重值能准确反映客观实际，需进行一致性检验，将偏差控制在允许范围之内。表 4 为平均随机一致性指标 RI 与矩阵阶数 n 之间的关系。

表 4 平均随机一致性 RI 表

Table 4 Average stochastic consistency indexes RI

阶数	RI	阶数	RI	阶数	RI
1	0.00	5	1.12	9	1.45
2	0.00	6	1.24	10	1.49
3	0.58	7	1.32	11	1.52
4	0.90	8	1.41	12	1.54

分别利用式(1)、(2)计算一致性指标 CI 以及一致性比例 CR ，即

$$CI=(\lambda_{\max}(\boldsymbol{w})-n)/(n-1) \quad (1)$$

式中： \boldsymbol{w} 为判断矩阵； λ_{\max} 为矩阵 \boldsymbol{w} 的最大特征值。

$$CR=CI/RI \quad (2)$$

当 $CR<0.1$ 或 $\lambda_{\max}=n$ ， $CI=0$ 时，认为判断矩阵的一致性是可以接受的，否则需调整判断矩阵中的

数值使其具有满意的一致性。

(4) 综合值计算

基于三级评价指标的主观评价值和权重计算出二级评价指标值。

$$U_{ij}=\sum_{m=1}^8 U_{ijm} \cdot c_m \quad (3)$$

$$U_{ij}=\sum_{n=1}^5 U_{ijn} \cdot c_n \quad (4)$$

二级评价指标值 U_{ij} 表示对不同工况加权合并后得到的不同类型噪声信号的主观评价综合值。

同理，计算出一级评价指标值和总值：

$$U_i=\sum_{j=1}^2 U_{ij} \cdot b_j \quad (5)$$

一级评价指标值 U_i 表示驾驶员位、副驾驶位、后排左乘客位 3 处位置车内噪声主观评价综合值。

$$U=\sum_{i=1}^3 U_i \cdot a_i \quad (6)$$

式(3)至式(6)中 $i=1, 2, 3$ ； $j=1, 2$ ； $m=1, 2, \dots, 8$ ； $n=1, 2, \dots, 5$ 。

总值 U 代表整车噪声主观评价的综合值。对不同车辆分别采用上述评价方法，可以得到各自的噪声主观评价综合值并进行比较分析，进而评判不同车的声品质。

3 模糊综合评价实例

3.1 车内噪声测量

高质量的噪声样本能真实地反应汽车内部的声学特征，能够保证试验结果的真实性和准确性，是主观评价试验成功的基础。噪声测量实验的目的是获得车内不同条件下的噪声样本，实验方案参照标准 GB/T 18697—2002(声学-汽车车内噪声测量方法)^[18]进行设计。测量的汽车工况包括：怠速工况、匀速工况、匀加速工况和制动工况。其中，匀速工况是在 30~100 km/h 的区间内每隔 10 km/h 选择一个；匀加速工况是车辆在 50~120 km/h 的区间内进行全油门加速行驶；制动工况是汽车以 60 km/h 和 80 km/h 匀速行驶时紧急制动。车内分别在驾驶员位、副驾驶位和后排左乘客位三个位置测量噪声信号。测量的车辆包括 4 辆不同类型的国产轿车，分别标记为 L 车、K 车、G 车和 H 车。

实验设备选用丹麦 Brüel&Kjær 公司生产的型号为 3560-B 的 PULSE 多通道测试系统，配有两只 1/2 英寸类型 4189-A-21 的麦克风。另有日本 RION 公司的 NA-28 类型的声级计和美国 NK 公司 Kestrel 4500 便携风速气象测定仪。图 1 为实际噪声测量过程中的设备设置。



图 1 车内噪声测量中设备的设置
Fig.1 The setting of interior noise acquisition in measurement

将所有现场测量的噪声信号经实验室回放、分析客观参量随时间的变化情况,选择每种条件下运行工况稳定且受其他因素影响小的最佳信号。考虑到人耳听觉中主观感知的形成过程,从选出的信号中剪辑出时间长度为 5 s 的信号作为一个噪声样本^[2]。制动噪声信号长度没有 5 s,根据实际的长度适当截取;加速的噪声信号长度都在 10 s 以上且非平稳信号的特征随着时间会变化,因此在加速信号的前半部分和后半部分各截取一段 5 s 的噪声样本。每辆车可截取得到 39 个噪声样本,对噪声样本编码建立噪声样本数据库。编码字母代表含义如表 5 所示。例如 LDE60 代表 L 车驾驶员位匀速 60 km/h 的噪声样本。

表 5 噪声样本编码中字母代表含义
Table 5 The meanings of letters in noise sample code

字母	含义	字母	含义
L	L 车	A01	加速(前半部分)
K	K 车	A02	加速(后半部分)
G	G 车	B60	60 km/h 开始制动
H	H 车	B80	80 km/h 开始制动
D	驾驶员位	P00	怠速
F	副驾驶位	E	匀速
R	后排左乘客位	30, 40, ..., 100	匀速时的速度

3.2 主客观评价

客观参数值的计算利用 B&K 公司的 Sound Quality 软件,包括响度、尖锐度、粗糙度、抖动度、语音清晰度和 A 计权声压级。噪声信号的测量采

用双通道,需要将两个客观参数值合在一起。响度的合成过程中要考虑屏蔽效应的影响,因此,采用了式(7)计算响度合成值。式(7)是由日本 HONDA 公司经过反复实验和测算总结出来的^[19]。

$$N_B = (N_L^{1/0.669} + N_R^{1/0.669}) \quad (7)$$

式中: N_B 为双耳响度; N_L 为左耳响度; N_R 为右耳响度。其他参数的合成值取其两个值的平均值。

进行主观评价试验前,首先综合考虑各噪声样本的属性及客观参数值,选出样本 LDE60 为参考样本。然后使用 Adobe Audition 软件将参考样本和每个噪声样本组合在一起形成样本对。两个样本之间有 1 s 的静音,可以让评价者识别下一个样本的开始和避免后掩蔽效应。每辆车有 39 个噪声样本,4 辆车共有 156 个噪声样本,一次主观评价试验,工作量大,超出了合适的主观评价时间。因此,借鉴分组成对比较法的原理,将样本按照车型分成 4 组即每辆车的噪声样本为一组,然后每组分别进行主观评价试验^[7]。考虑到评价试验的整体性,在每组之间设立 LDE80 为关联样本。在得到所有 n 组噪声样本的评价值后,可根据关联样本对数据进行反演,从而得到具有可比性的全部样本的评价值。分组评价的原理和过程如图 2 所示。

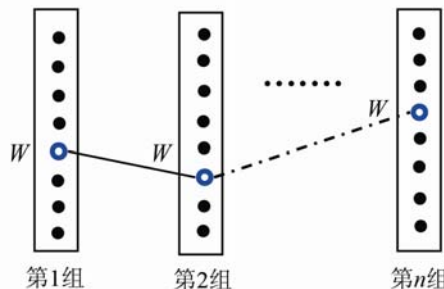


图 2 分组间数据联系的建立(W 为关联样本)
Fig.2 Establishment for data relationship among groups (W for correlation sample)

样本的评价结果值 ξ 可以通过式(8)进行反演重建:

$$\xi_{ij} = T_{ij} \times (k \div T_{wj}) \quad (8)$$

式中: j 表示样本的组号; i 表示样本在组内的编号; T_{ij} 表示样本在组内的原始评价值; T_{wj} 表示关联样本 W 在各组内的原始评价值; k 为比例系数,用于调整评价结果的赋值大小。在得到每组各样本的评价值 T_{ij} 后,根据式(8)计算得到最终值,全部样本的主观评价便可由 ξ_{ij} 做相应的分析。主观评价试验,找了 25 位身体健康、听力正常的评价者以综合烦躁度为评价指标参与主观评价试验。其中男女比例约 2:1,平均年龄约 28 岁,大部分人有实车驾驶经验。

3.3 试验结果处理分析

根据表 1 对主观评价结果的形容词进行数值替代, 统计 25 名评价者对每个噪声样本赋分的平均值, 利用 SPSS 软件计算每名评价者的结果与平均值之间的 Kendall 相关系数, 去除相关系数低的 3 名评价者的结果。剩余 22 名评价者结果的平均值即为噪声样本的综合烦躁度程度值, 再根据式(8) 将 4 组数据重建反演成具有可比性的一组数据, 最终的综合烦躁度值如表 6 所示(在此只列出了部分值)。

表 6 四辆车主观综合烦躁度评价值

Table 6 Subjectively evaluated values of comprehensive annoyance

编码	L 车	K 车	G 车	H 车
DA01	6.8333	6.5625	6.6667	6.1250
DA02	6.4444	5.6875	7.1014	7.5625
DB60	4.3889	3.9375	4.0580	3.8125
DB80	3.5556	4.2500	3.5507	3.8125
DE30	3.4444	3.8750	3.9855	4.7500
DE40	2.6111	4.3750	3.2609	4.1875
DE50	2.6667	4.8750	5.0000	5.2500
DE60	3.9444	4.5000	5.8696	5.0000
DE70	3.0000	4.8750	5.7246	5.1250
DE80	5.0000	3.7500	6.1594	6.5625
DE90	5.0000	5.5000	5.6522	7.0625
DE100	5.1667	5.2500	5.9420	7.3125
DP00	6.7778	5.5625	7.3913	6.0000

利用 SPSS 软件计算主观综合烦躁度值与 6 个客观参数值的 Pearson 相关系数如表 7 所示, 有三个目标参数(响度、语音清晰度和 A 计权声压级)与主观值的相关系数绝对值在 0.7430 以上, 响度与主观值的相关系数最大为 0.9401, 这在一定程度上证明了主观评价试验的准确性和有效性。

表 7 主、客观评价相关性分析

Table 7 Correlation of subjective and objective evaluations

评价参数	响度	尖锐度	粗糙度
相关系数	0.9401	-0.5145	0.4921
评价参数	抖动度	语音清晰度	A 计权声压级
相关系数	0.0436	-0.7430	0.8988

将主观综合烦躁度评价按不同位置不同车辆分别作图 3、图 4 和图 5。从三幅图中可以看出, 不同位置、不同车辆在各工况下的综合烦躁度值的趋势是类似的, 加速和怠速工况下的噪声综合烦躁度较高, 匀速工况下随着车速的增加综合烦躁度呈递增的趋势。不同车辆之间相互比较, 看不出明显的趋势, L 车的综合烦躁度在多数工况下较低, H 车的在多数工况下较高, G 车和 K 车依次位于中间位置。图 6 是 L 车不同位置、各工况下的的综合烦躁度值, 不同工况下各位置的综合烦躁度没有明显的

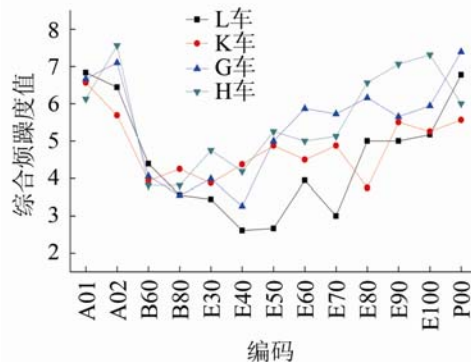


图 3 四辆车驾驶员位各工况综合烦躁度值

Fig.3 Comprehensive annoyance values for driver's position under different conditions

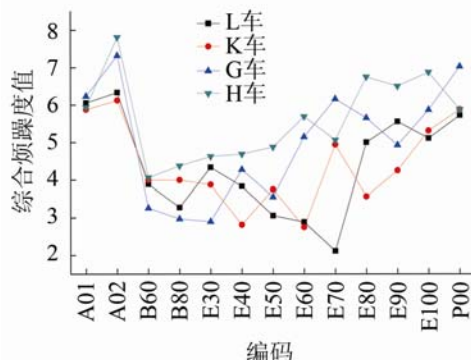


图 4 四辆车副驾驶员位各工况综合烦躁度值

Fig.4 Comprehensive annoyance values for vice driver's position under different conditions

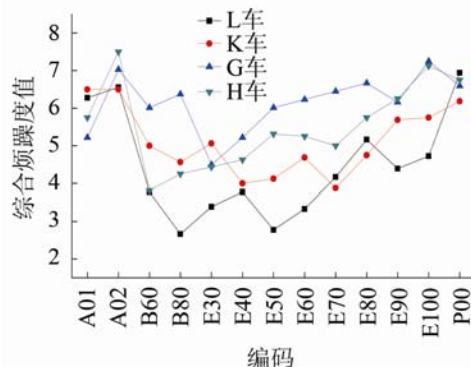


图 5 四辆车后排左乘客位各工况综合烦躁度值

Fig.5 Comprehensive annoyance values for rear passenger's position under different conditions

趋势可言, 一个位置有的工况下高, 有的工况下低。

综合分析, 不同车辆之间或单个车辆内不同位置各工况下的综合烦躁度值在某些方面存在一定的趋势, 在另一些方面得不出确切结论。因此, 为了使相互之间能有更好的数值可以比较分析, 得出比较准确的对比结果, 将模糊综合评价方法应用到数据处理上, 建立综合评价模型。

3.4 模糊综合评价方法的应用

(1) 各级指标权重的确定

权重表明此指标相对于上一级指标的贡献度

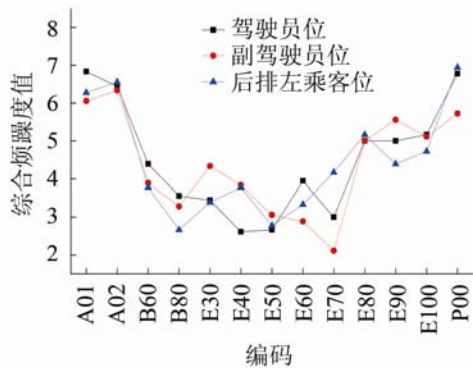


图6 L车不同位置各工况综合烦躁度值

Fig.6 Comprehensive annoyance values for different positions under different conditions of L

或者说是重要程度。首先邀请主观评价人员进行了一次问卷调查。统计结果显示: 100%的调查者认为驾驶员位最重要, 76%的人认为副驾驶位较后排左乘客位重要。然后咨询具有车辆噪声声品质研究经验的专家, 结合调查结果构造一级指标的判断矩阵, 计算各指标的权重, 利用式(2)进行一致性检验所得的 CR 远小于 0.1, 结果如表 8 所示。同理可得到二级指标和三级指标的判断矩阵及权重和检验结果, 如表 9 和 10 所示。

表 8 一级指标判断矩阵及权重
Table 8 Judgment matrix and weight of first index

指标	驾驶位	副驾驶位	后排左乘客位
驾驶位	1	3/2	2
副驾驶位	2/3	1	3/2
后排左乘客位	1/2	2/3	1
权重 w	0.4600	0.3189	0.2211
一致性检验	$CR=0.0013$		

表 9 二级指标判断矩阵及权重
Table 9 Judgment matrix and weight of secondary index

指标	平稳	非平稳
平稳	1	3/2
非平稳	2/3	1
权重 w	0.6000	0.4000
一致性检验	$\lambda_{\max}=2$	

表 10 三级指标判断矩阵及权重
Table 10 Judgment matrix and weight of third index

指标	加速前	加速后	制动 60	制动 80	怠速
加速前	1	1.5	2	2	2/3
加速后	2/3	1	3/2	3/2	1/2
制动 60	1/2	2/3	1	1	2/5
制动 80	1/2	2/3	1	1	2/5
怠速	1/2	2/3	5/2	5/2	1
权重 w	0.2444	0.1748	0.1237	0.1237	0.3332
一致性检验	$CR=0.0016$				

综上: $w=\{0.4600, 0.3189, 0.2211\}$; $w_1=\{0.6000, 0.4000\}$; $w'_2=\{0.24443, 0.17489, 0.12374,$

$0.12374, 0.3320\}$ 。二级指标“平稳信号”下的三级指标, 30~100 km/h 一共 8 个匀速工况, 调查结果表明超过 80%的人认为它们对于整体的综合烦躁度是同等重要的, 在此设置权重相同为 0.125, 即 $w_2=\{0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125, 0.125\}$ 。

(2) 综合值计算分析

根据式(3)和式(4)计算二级指标值, 结果如表 11 所示。同理, 根据式(5)和式(6)可计算出一级指标值和整车主观综合值, 如表 12 和表 13 所示。

表 11 二级指标主观综合值

Table 11 Subjective comprehensive value of secondary index

L车 主观值	K车 主观值	G车 主观值	H车 主观值
LD 平 3.8542	KD 平 4.6250	GD 平 5.1993	HD 平 5.6563
LD 非 6.0387	KD 非 5.4653	GD 非 6.2758	HD 非 5.7625
LF 平 3.9861	KF 平 3.9063	GF 平 4.8098	HF 平 5.6328
LF 非 5.3812	KF 非 5.4547	GF 非 5.9164	HF 非 5.8192
LR 平 3.9653	KR 平 4.7422	GR 平 6.0598	HR 平 5.4688
LR 非 5.7923	KR 非 5.9705	GR 非 6.2351	HR 非 5.9639

注: “平”代表平稳信号, “非”代表非平稳信号。

表 12 一级指标主观综合值

Table 12 Subjective comprehensive value of first index

L车 主观值	K车 主观值	G车 主观值	H车 主观值
LD 4.7280	KD 4.9611	GD 5.6299	HD 5.6987
LF 4.5442	KF 4.5256	GF 5.2524	HF 5.7074
LR 4.6961	KR 5.2335	GR 6.1299	HR 5.6668

表 13 整车主观综合值

Table 13 Subjective comprehensive value of vehicle

编码	L	K	G	H
主观得值	4.6623	4.8825	5.6201	5.6944

根据表 12 中一级指标值, 可以得出: 若只考虑 L 车内的三个位置, 则副驾驶位置综合烦躁度值最低表明声音品质最好, 后排左乘客位置次之, 驾驶员位置较差, 其余三辆车的综合烦躁度各位置排序和此有差异; 四辆车三个位置综合烦躁度最高的分别是驾驶员位置、后排左乘客位置、后排左乘客位置、副驾驶位置。由此可见, 每辆车的声品质都有其自身的特点。

图 7 是根据表 12 中一级指标值绘制的, 表示四辆车不同位置的综合烦躁度值, 可以得出: 综合烦躁度从低到高在驾驶员位置是 L 车、K 车、G 车、H 车; 在副驾驶位置是 K 车、L 车、G 车、H 车; 在后排左乘客位是 L 车、K 车、H 车、G 车。综合考虑四辆车的以综合烦躁度为评价指标的声品质, L 车最好, K 车第二, G 车第三, H 车最差, 此结果从表 13 模糊综合评价方法应用最终得到的整车主观综合值中可以明显得出。

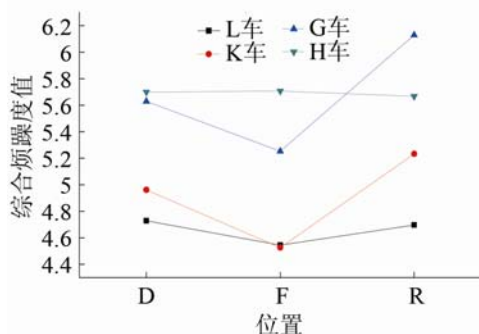


图7 四辆车不同位置综合烦躁度值

Fig.7 Comprehensive annoyance values for different positions of different vehicles

4 结论

模糊综合评价方法应用在车内噪声声品质主观评价数据处理上建立了综合评价模型, 可以根据不同条件下的噪声主观评价模糊综合得到一个对评价对象的主观评价总值。根据多个评价对象的总值, 可以清晰地比较每款车型不同位置之间或者不同车辆之间的声品质评价的好坏。这种方法相对于直接的人工测评法多了一部分评价结果的数据处理, 但得出的综合值能明确比较和评判车辆的声品质。本文以4辆汽车为研究对象, 进行了车内噪声的采集和预处理, 建立噪声样本数据库, 组织评价人员按照参考语义细分法以综合烦躁度为评价指标对噪声样本进行了主观评价。在评价结果处理中利用了模糊综合评价方法, 得到了不同位置以及整车的综合烦躁度评价总值, 为改善汽车声品质提供了参考。就本文选取的每辆车而言不同位置声品质好坏不一样, 说明不同的车型声品质有其自身的特征; 就这四辆车而言L车的声品质最好。

参 考 文 献

[1] 汪念平, 陈剑, 钟科平. 汽车声品质分析方法与评价流程[J]. 汽车工程, 2007, 29(9): 800-803.
WANG Nianping, CHEN Jian, ZHONG Chengping. The analysis methods and evaluation procedure of vehicle sound quality[J]. Automotive Engineering, 2007, 29(9): 800-803.

[2] Otto N, Amman S, Eaton C, et al. Guidelines for jury evaluations of automotive sounds[J]. SAE transactions, 2000, 108(6, Pt.2): 3015-3034.

[3] Gonzalez A, Ferrer M, De Diego M, et al. Sound quality of low-frequency and car engine noises after active noise control[J]. Journal of Sound and Vibration, 2003, 265(3): 663-679.

[4] Buss S, Schulte-Fortkamp B, Muckel P. Combining methods to evaluate sound quality[C]// Proceedings of the 29th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise 2000), Nice, France. 2000: 27-30.

[5] Cardozo B L, Van Lieshout R. Estimates of annoyance of sounds of different character[J]. Applied Acoustics, 1981, 14(5): 323-329.

[6] Blauert J, Jekosch U. Sound-quality evaluation a multi-layered

problem[J]. Acta Acustica United with Acustica, 1997, 83(5): 747-753.

- [7] 毛东兴, 高亚丽, 俞悟周, 等. 声品质主观评价的分组成对比较法研究[J]. 声学学报, 2005, 30(6): 515-520.
MAO Dongxing, GAO Yali, YU Wuzhou, et al. Grouped pair-wise comparison for subjective sound quality evaluation[J]. Acta Acustica. 2005, 30(6): 515-520.
- [8] 陈双籍, 陈端石. 基于心理声学参数的车内声品质偏好性评价[J]. 噪声与振动控制, 2005, 25(3): 45-47.
CHEN Shuangji, CHEN Duanshi. Sound quality preference evaluation for car interior noise based on psychoacoustic parameters [J]. Noise and Vibration Control, 2005, 25(3): 45-47.
- [9] 刘宗巍, 王登峰, 梁杰. 车内噪声质量的主观评价及其改善措施的研究与发展[J]. 汽车技术, 2006, 7: 1-4.
LIU Zongwei, WANG Dengfeng, LIANG jie. Study and development of subjective evaluation of inner noise quality and improvement[J]. Automobile Technology, 2006, 7: 1-4.
- [10] 陈克安, 闫靓, 尹雪飞. 环境声质量的主观与客观评价[C]// 全国环境声学电磁辐射环境学术会议论文集, 北京: 中国声学学会出版, 2004.
CHEN Kean, YAN Liang, YIN Xuefei. Subjective and objective evaluation for sound quality of environment[C]// The national environmental acoustics electromagnetic radiation environment of academic conference proceedings, Beijing: The Acoustical Society of China Publishing House, 2004.
- [11] 张宝龙. 声品质主观评价语义细分法研究[D]. 上海: 同济大学, 2005.
ZHANG Baolong. Study on subjective evaluation method of semantic differential[D]. Shanghai: Tongji University, 2005.
- [12] 刘想德. 基于模糊数学理论的车内噪声声品质评价[J]. 盐城工学院学报: 自然科学版, 2012, 25(3): 21-24.
LIU Xiangde. Vehicle interior sound quality based on fuzzy mathematics[J]. Journal of Yancheng Institute of Technology: Natural Science Edition, 2012, 25(3): 21-24.
- [13] 苏俐俐, 王登峰, 姜吉光, 等. 基于语义细分的车内声品质模糊综合评价[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2012, 42(002): 309-315.
SU Lili, WANG Dengfeng, JIANG jiguang, et al. Fuzzy comprehensive evaluation of vehicle interior sound quality based on semantic differential method[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2012, 42(002): 309-315.
- [14] 沈公奇. 车内噪声声品质心理学主观评价模型研究[D]. 上海工程技术大学硕士论文, 2011.
SHEN Gongqi. Study on subjective and objective evaluation model for psychoacoustical quality of vehicle interior noise[D]. Shanghai: Shanghai University of Engineering Science, 2011.
- [15] 彭亮. Groupon 模式下团购网站消费者信任度的模糊综合评价[J]. 企业经济, 2011(2): 85-88.
PENG Liang, Fuzzy comprehensive evaluation for trustiness degree of consumers in Groupon bulk purchasing websites[J]. Enterprise Economy, 2011(2): 85-88.
- [16] 胡宝清. 模糊理论基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
HU Baoqing. Fuzzy theory basis[M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 2004.
- [17] 常建娥, 蒋太立. 层次分析法确定权重的研究[J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2007, 29(1): 153-156.
CHANG Jiane, JIANG Taili. Research on the Weight of Coefficient through Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Information & Management Engineering, 2007, 29(1): 153-156.
- [18] 全国声学标准化技术委员会. GB/T 18697_2002 声学-汽车车内噪声测量方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
The acoustic standardization technical committee. GB/T 18697_2002 Acoustics-Measurement of noise inside motor vehicles[S]. BeiJing: China Standard Publishing House, 2002.
- [19] Noumura K, Yoshida J. Perception modeling and quantification of sound quality in cabin[J]. SAE Transactions, 2003, 112(6): 1790-1799.