

基于模糊数学理论的车内噪声声品质评价

刘想德^{1,2}

(1. 重庆大学 机械工程学院, 重庆 400030; 2. 重庆邮电大学 自动化学院, 重庆 400065)

摘要:将模糊综合评判理论与噪声声品质评价相结合,利用车内噪声声品质客观参量的计算结果和主观评价的试验数据,运用模糊数学知识分析了车内噪声各客观参量对其声品质的影响,并计算出了不同客观参量的影响权重。

关键词:车内噪声声品质;主客观评价;模糊数学;综合评判

中图分类号:TB11 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2012)03-0021-04

车内噪声是影响乘员的舒适性、听觉损害程度、语言清晰度以及对车外各种音响讯号识别能力的重要因素,因此车内声音的品质成为人们评价和选购汽车的重要因素之一。评价车内噪声声品质的优劣,除了依据必要的客观参量外,更主要的是乘客的主观反应。而人们的主观感受往往是模糊的、多层次的,是不尽相同的,不能简单的以“好”、“坏”而统一论之。另外,车内噪声声品质是受多方面因素影响的,而各因素对声品质影响的程度也不相同,所以,要对车内噪声声品质做出评价,就必须把这诸多因素综合起来加以考虑。

在进行车内噪声声品质研究时,获得了有效的主观评价试验数据后,就可以着手进行声品质客观量化描述的研究。随着研究的日益深入和不断扩展,目前用于评价车内声品质的相关属性已经不少,本文选择的分析参数是A计权声压级、响度、尖锐度、粗糙度和抖动度。综合评判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因素的总体评判。为了客观评定各种客观参量对车内噪声声品质的影响程度,本文研究采用声品质主观评价与模糊数学分析的方法对这个问题进行探讨。

1 车内噪声声品质主客观评价

当人对噪声特性获得一定认知度时,听觉系统就会在噪声物理特性和发声体的功能和品质等方面形成特定的感知联系,并形成特定的心理感知需求^[1]。这种现象的产生是针对噪声的研究由声级声学(物理方面)向声品质(心理方面)发展的直接源动力,反映了科学研究由客观参量走向主观参量。自上世纪九十年代以来,声品质的概念被创造、清晰定义,并成为国际性的新兴研究领域和研究热点。

声音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。声品质的主观评价是以人为主体,以听审团评价的方式进行。常用的评价方法有排序法、评分法、成对比较法和语义细分法等;客观评价方法,即用客观物理量作为评价的依据,使用仪器进行自动评价,主要方法有时频分析技术、客观参数回归分析技术和神经网络技术。虽然近年来基于声品质的客观评价方法获得长足的发展,评价的效率提高而成本降低,但声品质的客观评价仍然不能代替主观评价,主观评价的结果才是对声品质的真实反映^[2]。但主观评价也存在很多缺点,如一致性和重复性较差,成本和时间的代价较高。结果是主观评价数据,对于故障的诊断和解决没有直接的用处。因此,应将两者相结合,基于主观评价结果提出实用性强的客观评价方法,并利用主观评价对客观评价结果的准确性进行验证,其中主要的工作是:确定不同的客观参量对主观评价的影响程度,从而找出影响度较大的客观参量进行主观

收稿日期:2012-08-17

作者简介:刘想德(1976-),男,湖北云梦人,讲师,博士研究生,主要研究方向为先进制造技术、制造自动化。

评价模型的建立。下面将基于模糊综合评判法对声品质客观参量对主观评价的影响程度进行分析计算并排序。文献[3]通过对不同 6 辆轿车车内噪声进行了主观评价试验及客观参量计算,结果如表 1 所示。

表 1 车内声品质主客观评价结果

Table 1 Objective evaluation results of vehicle interior sound

样本数	主观评价	A 计权声压级	响度	尖锐度	粗糙度	抖动度
1	2.79	60.8	24.029	0.757 8	0.576 2	0.189 2
2	3.22	55.6	19.486	0.793 4	0.564 7	0.197 2
3	3.59	63	30.155	0.870 3	0.485 7	0.207 8
4	4.07	63.8	25.855	0.781 9	0.462 5	0.218 3
5	4.54	57.7	27.401	0.986 2	0.631 8	0.267 4
6	4.63	59.4	18.301	0.965 9	0.693 1	0.300 7

2 模糊综合评判法基本原理

综合评判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。而模糊逻辑是通过使用模糊集合来工作的,是一种精确解决不精确不完全信息的方法,其最大特点就是用它可以比较自然地处理人类思维的主动性和模糊性。因此对这些诸多因素进行综合,才能做出合理的评价,在多数情况下,评判涉及模糊因素,用模糊数学的方法进行评判是一条可行的也是一条较好的途径^[3]。

20 世纪 80 年代初,汪培庄提出了综合评判模型,此模型以它简单实用的特点迅速波及到国民经济和工农生产的方方面面,广大实际工作者运用此模型取得了一个又一个的成果。与此同时,还吸引了一些理论工作者对此模型进行深化和扩展研究,出现了一批诱人的成果,诸如:多级模型、算子调整、范畴统观等等。而且,针对实际应用中模糊综合评判模型常遇到的一些问题,对其进行了改进,采用多层次模糊综合评判模型和广义合成运算的模糊综合评判模型。下面将对车内噪声声品质模糊综合评判进行理论分析:

车内噪声声品质受到多种因素的影响,把每一种因素用一个评语来代表也即客观评价参量,假设有 m 个客观评价参量,他们构成一个论域 U :

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_m\} \quad (1)$$

$$j = 1, 2, \dots, m$$

式中, u_j 为第 j 个客观评价参量。

对每一个评价参量,把它适当的分成若干等级,以衡量其优劣的程度,假设每个评语分成 n 个等级,则他们将构成等级论域 V :

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n\} \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

式中, v_i 为第 i 个等级。

每一个评语 $u_j(j=1, 2, \dots, m)$ 对每一个等级 $v_i(i=1, 2, \dots, n)$ 都有一个隶属度,即 u_j 对 v_i 的符合程度,记作 r_{ij} 。一个评语对所有的等级的隶属度构成一个模糊向量 Y' ,第 j 个评语的牧户向量可表示为:

$$Y' = \{r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{ij}, \dots, r_{nj}\} \quad (3)$$

所有评语的模糊向量构成一组模糊关系,记为模糊变换矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

因为在 m 种因素中,每种因素对音质影响程度不同,所以必须给每个评语加上适当的权重,这些权

重亦构成一个模糊向量 A :

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_m\} \tag{5}$$

式中, a_j 为第 j 个评语的权重。通过对车内噪声的声品质主观评价可以得出:

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n\} \tag{6}$$

将模糊矩阵 R 和模糊向量 A 合成, 做一次模糊变换, 得到公式(7)。

通过公式(7)的逆运算可以得到不同客观评价参量对车内噪声声品质主观评价结果的影响程度。

$$Y = A \cdot R = \{a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_m\} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n\} \tag{7}$$

3 车内声品质模糊综合评判的应用

引入心理测量评判的主因素决定性, 对车内声品质的心理评判逆向问题进行求解。

第1步: 建立因素集

评价车内声品质的主要客观因素有 A 计权声压级、响度、尖锐度、粗糙度、抖动度等。因此建立因素集为:

$$U = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5) = (A \text{ 计权声压级、响度、尖锐度、粗糙度、抖动度});$$

第2步: 建立评判集

文中车内声品质主观评价通过对不同5辆车进行主观评价试验获得, 因此设其评判集为:

$$P = (p_1, p_2, p_3, p_4, p_5)$$

其中 $p_i (i=1 \sim 5)$ 表示5个不同车辆的车内声品质;

第3步: 建立评判矩阵, 备择集

$$V = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5)$$

对不同5辆车车内噪声进行主观评价及客观参量计算后的结果如表1所示, 可以得到论域 U :

$$U = \begin{bmatrix} 60.8 & 55.6 & 63 & 63.8 & 57.7 & 59.4 \\ 24.029 & 19.486 & 30.155 & 25.855 & 27.401 & 18.301 \\ 0.7578 & 0.7934 & 0.8703 & 0.7819 & 0.9862 & 0.9659 \\ 0.5762 & 0.5647 & 0.4857 & 0.4625 & 0.6318 & 0.6931 \\ 0.1892 & 0.1972 & 0.2078 & 0.2183 & 0.2674 & 0.3007 \end{bmatrix}$$

从而可以得到将结果作为从论域 U 到论域 V 的模糊关系矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} 0.1687 & 0.1543 & 0.1749 & 0.1771 & 0.1601 & 0.1649 \\ 0.1655 & 0.1342 & 0.2076 & 0.1780 & 0.1887 & 0.1260 \\ 0.1470 & 0.1539 & 0.1688 & 0.1517 & 0.1913 & 0.1874 \\ 0.1688 & 0.1654 & 0.1423 & 0.1355 & 0.1851 & 0.2030 \\ 0.1370 & 0.1428 & 0.1505 & 0.1581 & 0.1937 & 0.2178 \end{bmatrix}$$

从论域 P 到论域 V 的模糊关系矩阵 P :

$$P = (0.1222 \quad 0.141 \quad 0.1572 \quad 0.1782 \quad 0.1988 \quad 0.2027)$$

第4步: 建立权重集

在模糊综合评价中, 各因素的重要程度不同, 作用大小各有所异, 对评价结果的影响程度也不一样。因此, 可以通过对权重的计算, 得到各因素对评价结果的影响程度。

令 $A = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5)$ 为论域 P 到论域 U 的模糊关系矩阵, a_i 为某客观评价参量 u_i 对车内声品质主观评价的影响程度。

第5步: 模糊综合评判

当权重集 A 和单因素评判矩阵 R 确定后, 可以采用模糊变换进行综合评判。

模糊关系方程: $A \times R = P$ 即:

$$(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5) \cdot \begin{bmatrix} 0.1687 & 0.1543 & 0.1749 & 0.1771 & 0.1601 & 0.1649 \\ 0.1655 & 0.1342 & 0.2076 & 0.1780 & 0.1887 & 0.1260 \\ 0.1470 & 0.1539 & 0.1688 & 0.1517 & 0.1913 & 0.1874 \\ 0.1688 & 0.1654 & 0.1423 & 0.1355 & 0.1851 & 0.2030 \\ 0.1370 & 0.1428 & 0.1505 & 0.1581 & 0.1937 & 0.2178 \end{bmatrix} =$$

$$(0.1222 \quad 0.141 \quad 0.1572 \quad 0.1782 \quad 0.1988 \quad 0.2027)$$

采用算子 $M(\wedge, \vee)$, 逆向求解, 并将权数按照式(8)进行归一化

$$a'_i = a_i / \sum a_i \tag{8}$$

最后可以得到:

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5) = (0.76, 0.91, 0.83, 0.81, 0.08)$$

通过模糊综合评判的结果可知:对车内声品质影响最大的客观评价参量是响度,其次是尖锐度、粗糙度、A 计权声压级,抖动度对车内噪声声品质的影响最小。

4 结论

本文不仅对车内噪声声品质进行了评价分析,而且采用模糊综合评判的方法对影响车内噪声声品质的客观参量进行了评价,从而获得了不同客观参量对车内声品质的影响程度即 A,从结果可以清楚地看出:对车内声品质影响最大的客观参量是响度,其次是尖锐度、粗糙度、A 计权声压级,抖动度对车内噪声声品质的影响最小。因此对选择合适的客观参量建立车内声品质主观评价模型提供了可靠依据。

车内声品质的综合评判是一非常复杂的问题,其复杂性不仅在于评判客观参量的多少,更在于评判客观参量的量化分析上。将模糊数学的方法引入对车内声品质进行综合评价是一种尝试,还有待于进一步完善。

参考文献:

[1] 毛东兴. 声品质研究与应用进展[J]. 声学技术, 2007, 26(1): 159 - 165.
 [2] 汪念平, 陈剑, 钟秤平. 汽车声品质分析方法与评价流程[J]. 汽车工程, 2007, 29(9): 800 - 803.
 [3] 刘宗巍. 车内噪声声品质建模分析与自适应主动控制研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
 [4] 胡宝清. 模糊理论基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.

Vehicle Interior Sound Quality Based on Fuzzy Mathematics

LIU Xiang-de^{1,2}

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;
 2. College of Automation, Chongqing University of Post and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: In this paper, the author combined fuzzy comprehensive evaluation theory with sound quality evaluation. Based on the calculated results of objective parameters and the test of subjective evaluation of vehicle interior sound quality, this paper analyzed the effect of objective parameters on vehicle interior sound quality with the knowledge of fuzzy mathematics and in the end, worked out the weight factors of different objective parameters.

Keywords: vehicle interior sound quality; subjective and objective evaluation; fuzzy mathematics; synthetical judge

(责任编辑:张英健)