

## 【制造技术】

## 摩托车声品质主观评价\*

叶芳<sup>1</sup>, 赵勤<sup>2</sup>

(1. 重庆工商职业学院, 重庆 400052; 2. 长安汽车股份有限公司汽车工程研究院, 重庆 400030)

**摘要:**为改善摩托车噪声性能、提高声音品质,进行了某款摩托车的声品质主观评价研究。以摩托车在不同发动机转速下驾驶员耳旁的声样本为评价对象,运用分组成对比较法进行了主观评价试验,并将主观评价结果与心理声学参数进行了偏相关性分析,找出了影响该类摩托车声品质的主要心理声学参数。该主观评价结果可指导该类摩托车进行声品质改善设计。

**关键词:**声品质;主观评价;偏相关分析;分组成对比较法

**中图分类号:**U483

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2010)07-0075-04

随着工业技术的不断进步,车辆的 NVH 性能逐渐受到了消费者的关注。在低噪声的基础上,不同的声音会对人的心理感受产生不同的影响,进而影响人们对产品的选择。由于传统的 A 计权声压级不能充分反映人们对噪声的主观感觉,以致出现 A 计权声压级测量合格,但顾客却感觉十分烦躁、噪声难以忍受的现象<sup>[1]</sup>。因此,良好的噪声声音品质成为了评价声音适宜性的主要指标。

## 1 声品质评价方法

目前,研究声品质的主要方法分别是基于评审团的主观评价方法<sup>[2]</sup>和基于心理声学参数的客观评价方法。声品质主观评价在本质上就是运用实验心理学的方法来研究噪声问题,其涉及的因素很多,包括测试对象的选择、噪声的准备、听测环境和评价方法的选择等。国际上进行主观评价常采用的评审团方法有排序法、打分法、成对比较法、语义细分法等<sup>[3-5]</sup>。由于声品质研究最终的评判标准是人的听觉感受,故这种主观感受虽不能用现有的仪器和设备直接测出,但可用某些客观参量来进行描述。心理声学参数就是描述不同声音信号所引起的主观感受差别程度的客观物理量。采用心理声学参数进行分析,可以定量地反映听觉感受的差别,消除个体的影响,客观的量化对声音的主观评价。目前,主要应用的心理声学参数包括响度、尖锐度、波动度、粗糙度等<sup>[6]</sup>。

本文中将以摩托车在不同发动机转速下驾驶员耳旁的声样本为评价对象进行主观评价试验,以期能为改善摩托车声品质服务<sup>[7]</sup>。

## 2 声品质主观评价实验设计

### 2.1 噪声样本采集

为了能在主观评价中获得与实际情况一致的声事件感觉,评价噪声库采用 B&K 的双耳麦克风记录实际条件下的双耳噪声信号。样本采集试验中选取了 15 辆同一类型的摩托车,记录定置工况下发动机在怠速、中速和高速行驶状态下驾驶员位置的稳态噪声样本,每种工况的记录时间为 15 s。现场实验采集的样本经实验室回放和客观分析,剔除了样本中受干扰或运行工况不稳定的样本,得到了 40 个独立的有效噪声样本。其中,25 个样本用于建立主客观模型,15 个样本用于模型精确度验证,由 2 次实验分别采集得到。

虽然已对样本进行了初步的筛选,排除了受干扰较大的样本,但由于在 15 s 的记录时段内车辆运行条件很难严格控制,可能出现运行不稳定的现象。因此,为了确保评价的准确性,在评价前再次通过审听,以及对转速信号的分析 and 客观参量随时间变化情况的分析,同时也考虑了人耳听觉中主观感知的形成过程及时间因素,对记录的噪声信号进行了截取。最终用于主观评价的样本信号时间截取为 5 s<sup>[8]</sup>。

### 2.2 评价主体的确定

声品质主观评价结果的优劣与评价主体(评价人员)对评价内容和评价方法的理解程度以及主体综合表现的稳定性密切相关。因此,对主体进行选取和培训是使主观评价试验结果可靠、有效的保证<sup>[9]</sup>。本次主观评价选取的

\* 收稿日期:2010-04-22

作者简介:叶芳(1981—),女,硕士,主要从事汽车振动与噪声研究。

评价人员均有一定的声学知识基础,其中约 1/3 的评价者从事振动与噪声研究,平均年龄为 28 岁,均无听力障碍。所有的评价人员均对被评价的声样本有一定程度的认识,并积累了一些评价经验和评价技巧。第 1 次用于建立数学模型的主观评价的主体个数定为 23 名,第 2 次用于验证模型的主观评价的主体个数定为 16 名。评价前还对评价人员进行了以下几方面的培训:评价样本的说明、评价量的解释和评价过程的说明。

### 2.3 评价实验的设计

对目前国际上常用的几种评价方法进行分析比较后发现,排序法虽然简单,但其结果无法同客观评价结果进行比较;评分法虽简便快捷,但没有经验的听者将很难取得满意的效果;语义细分法虽能获得评价量的绝对值,评价时间也大大缩短,但评价结果的离散性较大,同一评价者获得的结果其重复性比较差;成对比较法是相对评价,适用于无经验者,但当样本很多时将使工作量偏大。

在对各种评价方法进行比较的基础上,结合所需评价任务的具体情况,并通过初步评价实验中评价者的反映,最终以成对比较法为基础,设计了比较易行的分组成对比较法,对摩托车噪声的声品质进行主观评价实验。

分组成对比较法针对传统成对比较法在大样本主观评价实验中的缺点,将大样本量的评价试验分成具有相互联系的多个样本组,再对各样本组独立进行成对比较。通过在各样本组之间预设的关联样本,将各组的评价结果进

行重建,以此获得整体样本的评价结果。

在实验设计中,将样本分为 A、B、C、D、E 共 5 组,每组中包含 1 个共同的标志样本,并仅进行半角矩阵评价。以第 1 次试验为例,设  $i, j$  分别代表 2 个声样本,为了验证评价结果的有效性,需进行辅助  $i-i$  比较(同一样本不同回放顺序比较)和  $ij-j\bar{i}$  不同回放顺序比较实验。当  $i$  偏好于  $j$  时,比较结果  $P(i, j)$  赋值为 1;感觉相当,赋值为 0;若  $i$  比  $j$  差时,则赋值为 -1。声样本在比较评价中被选择的次数,可作为某评价人员 ( $TP_i$ ) 对该样本声音所给出的主观分值,由此可得到 23 个评价人员对各声样本的偏好性主观分值。

### 2.4 实验数据前处理

从主观评价的实验数据中,不能直接获得所需要分析的参量的结果。故必须对评价实验数据进行数值化处理。数值化处理首先需通过赋值将第  $TP_i$  个测试者的评价数据转化成主观评价的二维代码矩阵,得到所有评价主体对每组 9 个声事件之间的评价结果的三维矩阵,由声事件之间的比较结果,计算某一声事件任一评价参量的值。这里把第  $I$  行相加便得到第  $I$  个声事件的值,分别计算所有主体对这 1 组共 9 个样本的评价结果,再由各组 9 个样本的评价结果,归一化定标声样本在各组中的评价结果,最后将各组评价结果组合成全体声样本评价最终结果,如表 1、表 2 所示。

表 1 A、B、C 组声样本最终得分

组别	初始得分	最终得分	组别	初始得分	最终得分	组别	初始得分	最终得分
A1	5.17	7.77	B1	5.57	5.57	C1	2.9	2.72
A2	4.62	6.28	B2	2	2	C2	5.57	5.21
A3	2	2.72	B3	5.1	5.1	C3	5.19	4.86
A4	6.29	8.55	B4	4.1	4.1	C4	2.29	2.14
A5	3.62	4.92	B5	5.67	5.67	C5	2.29	2.14
A6	5.81	7.9	B6	2.76	2.76	C6	5.86	5.48
A7	1.9	2.59	B7	3.1	3.1	C7	3.33	3.12
A8	2.33	3.17	B8	2.67	2.67	C8	4.19	3.92
A9	3.57	4.86	B9	4.86	4.86	C9	4.29	4.01

表 2 D、E 组声样本最终得分

组别	初始得分	最终得分	组别	初始得分	最终得分	组别	初始得分	最终得分
D1	6.69	6.69	D7	2.88	2.88	E4	6.06	6.00
D2	7.13	7.13	D8	3.25	3.25	E5	2.94	2.91
D3	5.88	5.88	D9	7.38	7.38	E6	5.00	4.95
D4	5.63	5.63	E1	5.81	5.75	E7	2.38	2.35
D5	3.63	3.63	E2	5.38	5.32	E8	5.06	5.01
D6	3.31	3.31	E3	5.69	5.63	E9	7.56	7.48

要得到更准确可靠的统计结果,还必须进行误差、可信度等的检验,剔除评价中的错误数据。在实验中,可通

过人为设计的检验来进行评价者评价结果的可靠性检验。设计的检验包括了以下 3 个方面的内容:相同声事件比较

( $i-i$  比较)错误、不同回放顺序的比较( $ij-j_i$  比较)错误和三角循环误差<sup>[10]</sup>的检验。

### 3 主客观偏相关分析

主观评价的目的除了比较判断现有产品噪声的某些主观指标的优劣外,更重要的其是可为噪声的改善设计提供指导性服务。寻求主观评价的结果与客观计算参量之间的相关性,可以获得主观评价指标对计算参量的依赖关系,从而得到为改善噪声的某些主观评价指标而对噪声的计算参量(客观物理量)进行改进的方向,进而对产品结构和声学设计作相应调整,以达到最终改善主观评级指标,改善噪声暴露环境的目的<sup>[11]</sup>。

这里采用 B&K 公司 PULSE 软件 Sound quality 模块的计算模型,分别计算了各声样本的双耳响度、A 计权声压级、尖锐度、粗糙度和波动度。一般在参量间内在联系未预知的情况下,对参量值进行标准化处理有利于挖掘各参量间的内在联系。在此采用以各参量相对于其最大值的比例的方法对数据进行归一化处理,并再乘以 100。

为了研究摩托车噪声声品质主观评价结果与心理学参数之间的关系,这里应用 SPSS13.0 应用统计软件对 A、B、C 共 3 组实验结果的相关数据进行了线性相关性分析<sup>[12]</sup>。当分析 2 个变量间相关关系的时候,由于有其他变量的影响,使得计算出的相关系数难以体现出这 2 个变量间的真实相关关系。为此,可采用在控制其他变量影响的情况下分析这 2 个变量的相关性,计算出相关系数的偏相关分析方法。表 3 为主观偏好性与各参量的偏相关性计算结果。从表 3 中可以看出,A 声级、粗糙度和波动度与主观偏好性的偏相关系数较高,分别为  $-0.618$ 、 $-0.402$ 、 $-0.506$ ,而响度和尖锐度与主观偏好性的相关性较弱。也就是说,对声样本的主观偏好性影响较大的是:A 声级、粗糙度和波动度。

表 3 主观偏好性和各参量的偏相关性

客观参量	主观偏好性	控制变量
响度	0.180	A 声级、尖锐度、粗糙度和波动度
A 声级	-0.618	响度、尖锐度、粗糙度和波动度
尖锐度	0.186	响度、A 声级、粗糙度和波动度
粗糙度	-0.402	响度、A 声级、尖锐度和波动度
波动度	-0.562	响度、A 声级、尖锐度和粗糙度

### 4 应用分析

进行主观评价的目的是为了指导噪声的改善设计。

为此,可在主观评价实验的基础上,将主观得分高的样本(样本 E9,得分为 7.48)和主观得分低的样本(样本 D5、D7,得分分别为 3.63、2.88)进行对比分析,以找到影响产品声品质的因素。

图 1 所示为 3 个样本的双耳响度对比曲线。由图可看出,在 0~4Bark,样本 E9 的双耳响度大于样本 D5 和 D7;而 4Bark(400 Hz)之后则刚好相反。

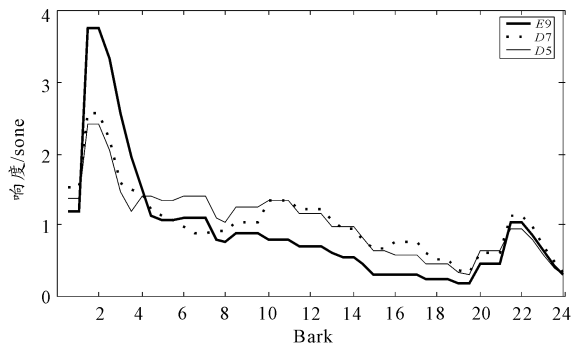


图 1 双耳响度对比

图 2 为 3 个样本在 0~5 000 Hz 时右、左耳的 A 计权声压自功率谱对比曲线。由图可以看出,在 1 000 Hz 以后,样本 E9 的频谱曲线明显低于样本 D5 和 D7,并且在 2 000 Hz 以后尤为突出;而在低于 1 000 Hz 部分,3 个样本的差异不大,样本 E9 略高。

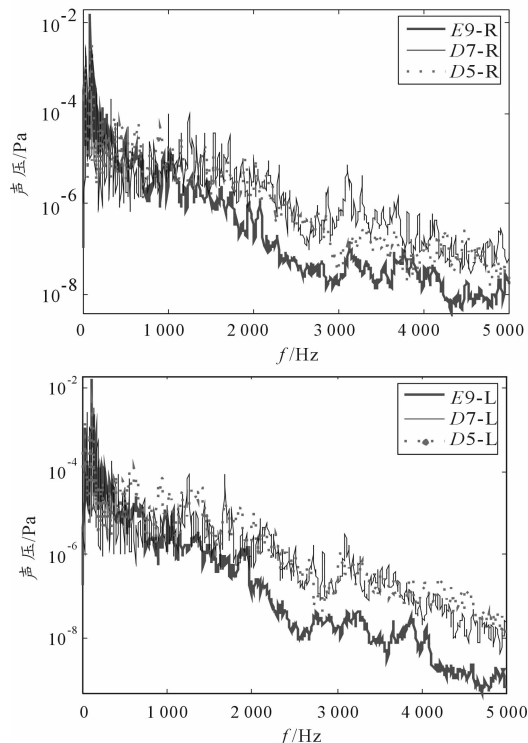


图 2 0~5 000 Hz 频谱对比

以上分析说明,样本 D5 和 D7 在主观实验中得分低的主要原因是其在高频成分比较突出,因此如果能控制好高频(尤其是 2 000 Hz 以后)成分,则能有效改善摩托车的声

品质。

## 5 结束语

本文中以摩托车在不同发动机转速下驾驶员耳旁的声样本为评价对象,运用分组成对比较法进行了主观评价试验,并对主观评价结果与心理声学参数进行了偏相关性分析,找出了影响该类摩托车声品质的主要心理声学参数,同时其主观评价结果可为改善该类摩托车声品质提供服务。

## 参考文献:

- [1] 杨诚,吴行让,卢喜,等.压缩机的声品质分析[J].重庆大学学报:自然科学版,2007,30(8):17-20.
- [2] 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.
- [3] Norm Otto, Scott Amman, Charis Eaton, et al. Guidelines for jury evaluations of automotive sounds[C]. Noise and Vibration Conference & Exposition, 1999(1):1822.

- [4] 徐小军.基于主观感觉的声质量客观评价方法及应用[D].合肥:合肥工业大学,2004.
- [5] 翟青泉.声质量客观评价方法研究[D].合肥:合肥工业大学,2005.
- [6] Aaron Lee Hastings. Sound quality diesel engines [D]. West Lafayette: Purdue University, 2004.
- [7] 钟秤平,陈剑,汪念平.车内噪声声品质偏好性评价与分析实验研究[J].汽车工程,2008,30(1):40-43.
- [8] 毛东兴.车内声品质主观评价与分析方法的研究[D].上海:同济大学,2003.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 范蓉平,孟光.基于心理声学响度分析的高速列车车内噪声评价[J].振动与冲击,2005,24(5):47-48.
- [12] 张文彤.SPSS11 统计分析教程[M].北京:北京希望电子出版社,2002.

(责任编辑 周江川)

(上接第62页)

## 参考文献:

- [1] 肖菊,刘天生.提高成型装药质量的研究[J].机械管理开发,2006(6):13-21.
- [2] 胡焕性.破甲战斗部精密装药基础及实验研究[J].火炸药学报,1999(1):1-5.
- [3] 田丽燕,徐更光,王廷增.散粒体炸药压装成型过程分析[J].火炸药学报,2002(2):23-24.
- [4] 王世英,胡焕性.炸药装药工艺对发射安全性的影响[J].火炸药学报,2003,26(1):20-22.
- [5] 常双君.炸药装药质量对发射安全性的影响[J].中国安全科学学报,2004,14(11):76-78.
- [6] 高金霞,赵卫刚,郑腾.侵彻战斗部装药抗过载技术研究[J].火工品,2008(4):4-7.

- [7] 王淑萍.分步压装装药的安全性分析[J].火炸药学报,2006,29(2):23-25.
- [8] 吴涛,直小松,孙强.分步压装高能混合炸药在战斗部装药中的应用研究[J].国防技术基础,2009(6):43-46.
- [9] 张欲立,李琳琳,张宏光,等.基于分布压装工艺技术的新型装药设备[J].兵工自动化,2009,28(6):1-5.
- [10] 董月红.某分布压装机的设计[J].机电产品开发与创新,2009,22(3):26-27.
- [11] 张欲立,李琳琳,张宏光,等.分步压装药与压力装药的工艺特性分析[J].兵工自动化,2009,28(增刊):9-11.

(责任编辑 周江川)