

文章编号:1000-582X(2013)05-013-05

汽车雨刮器声品质的主客观分析

徐中明^{a,b},张瑜^a,贺岩松^{a,b},张志飞^{a,b}

(重庆大学 a. 机械传动国家重点实验室; b. 机械工程学院, 重庆 400044)

摘要:对4辆不同类型汽车的雨刮器在高低速挡位下工作时所产生的车内噪声进行了测试,根据雨刮器的噪声信号特性制作了主观实验所需声样本。采用分组成对比较法对所得样本进行了烦恼度主观评价实验,从速度挡位、刮刷方式两个方面分析了主观得分值的分布特性和4个心理学参量对主观烦恼度的影响。结果表明,高速挡的烦恼度高于低速挡,下刮对总体烦恼度的影响程度高于上刮,影响主观烦恼度的客观参量主要有双耳响度和波动度。

关键词:声学;声品质;烦恼度;主观实验;客观评价

中图分类号:U483

文献标志码:A

Subjective and objective analysis on the sound quality of automotive wiper system

XU Zhongming^{a,b}, ZHANG Yu^a, HE Yansong^{a,b}, ZHANG Zhifei^{a,b}

(a. The State Key Laboratory of Mechanical Transmission; b. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Car interior noise induced by windshield wiper system is tested for four different types of cars under high and low wiping speeds, and sound samples for subjective annoyance study are prepared. Grouped pair-wise comparison is adopted for the subjective evaluation test. The characteristic of subjective values and relation of four psychoacoustic parameters to the subjective annoyance are analyzed in two wiping speeds and various wiping patterns. The results indicate that the annoyance caused by wiper noise at high speed is higher than that at low speed, and downwards wiping noise is more annoying than upwards wiping noise. The work concluded that the subjective annoyance of noise from wiper system could be described by binaural loudness and fluctuation.

Key words: acoustics; sound quality; annoyance; subjective testing; objective evaluation

近年来,汽车车内声环境的舒适性逐渐受到关注,汽车声品质研究已从整车、发动机等主要部件的研究,深入到对汽车各零部件的研究,如汽车排气消声系统、传动系统、车窗开闭声、关门声、汽车喇叭声以及轮胎噪声^[1-4],但驾驶员声学远不止这些。雨刮器系统是汽车安全系统的必备部件之一,用来清理挡风玻璃上的雨雪尘土等,它工作时所产生的噪声

也会给驾驶员带来不舒适感,因而遭到不少车友的投诉和抱怨^[5]。在降低雨刮器噪声问题方面,国外已做了一些研究,如降低雨刮低频咔嗒声^[6]、高频尖叫声^[7]、雨刮刮片颤抖噪声^[8-9]等,但单纯的降噪并不能满足消费者高品质的生活要求,人们更在意汽车雨刮器所产生的烦恼感。

人是声音的接收者和感受者,声音的舒适与否需要人来进行主观判断。主观评价可以通过人耳对

收稿日期:2012-12-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50975296);重庆市科技攻关项目(CSTC2012gg_yyjs60001)

作者简介:徐中明(1963-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事车辆振动噪声控制研究,(E-mail)xuzm@cqu.edu.cn。

声音总体听觉特性的感受来评价声音品质,相比于传统的 A 计权声压级,更能全面反应噪声对人们的影响。笔者采用分组成对比较法对 4 种不同车型的汽车雨刮器噪声进行了主观评价实验,通过对主观评价结果和客观参量的分析,得到了速度挡位和刮刷方式对雨刮器烦恼度的影响特性,为后续雨刮器噪声的声品质改善提供理论指导。

1 主观评价实验

1.1 噪声样本采集制作

试验采用丹麦 B&K 4101 双耳麦克风,分别对 4 辆样车的雨刮器噪声信号进行采集,采样频率为 44 100 Hz。由于雨刮器噪声属于低频噪声,为了防止外界环境噪声对试验的干扰,试验地点选在无人区的空旷场地。试验时,将两根直径很小的软管置于车顶以模拟雨水状态,汽车发动机关闭,利用车载 12 V 蓄电池进行供电,汽车车窗也均关闭,驾驶座安排一位测试人员佩戴双耳麦克风。每个样本的采样时间为 1 min,以便后续样本的截取。主观实验所采用的声样本有:

1) 雨刮低速挡、高速挡两种刮刷工况下的 8 个噪声信号,由于间歇挡速度与低速挡速度相同,故间歇挡不必作单独测试。

2) 由于雨刮器上刮与下刮的刮刷噪声并不相同^[10],差异较大,因此从雨刮器噪声的一个工作周期信号中分别截取出上刮、下刮噪声信号,采用 Matlab 编程进行处理,将其循环延长,得到 16 个声信号。

采集与制作的声信号经去噪和截取后得到 24 个长度为 5 s 的声样本。由于雨刮器高速挡和低速挡的刮刷噪声的响度差异很大,为避免影响最终评价结果,在主观评价时,参考文献[11]对 24 个声音样本进行了等响处理。

1.2 评审团构成

评价主体是主观实验的样本群,主体的选取和综合表现直接关系着评价结果的优劣。由于汽车消费者是雨刮噪声的主要受影响者,相对于专家,他们更适合作评审人员,同时研究表明,对于大多数声品质评审实验,20 名评价主体就已足够^[12]。因此,笔者选择来自车辆专业的 24 名研究生,其中 2/3 为男性,1/3 为女性。他们都有驾驶经验,无听力障碍。实验前,测试人员向主体讲解评价量、评价方法和评价过程,并对他们进行一定的听音培训。

1.3 实验方法

成对比较法是将所有的声样本两两成对进行播

放,评审者根据试验要求进行判断,该方法操作简便,且能辨别细微差别。笔者有 24 个声样本,采用分组成对比较法。它是成对比较法的一种改进方法,是为了克服大样本量给评价者带来冗长的工作量,引起疲劳。参考文献[13]将声样本分成相互关联的 3 个样本组,在样本组间设置关联样本,每个样本组独立完成评价后的结果,通过关联样本进行组合重演,获得全部样本的评价结果。

1.4 实验结果检验

主观评价因受到外界或评价者本身心理因素的影响,总会存在一些误差,从而导致评价结果的一致性和有效性较差。参考文献[14],通过对数据进行相同事件比较误判、不同回放顺序比较误判和三角循环误判,计算出各评价者在各样本组的计权一致性系数,剔除一致性系数在 0.8 以下的评价者的评价结果。计算剔除后各评价者对各声样本的累积评分的平均值,按比例调节评分结果,以使 3 个样本组中参考样本的得分值一致,从而获得整体样本的烦恼度值,如表 1 所示。

表 1 声样本烦恼度的得分表

样本	得分	样本	得分
1	2.05	13	3.14
2	4.50	14	2.95
3	3.45	15	4.79
4	6.73	16	6.00
5	1.05	17	1.41
6	1.50	18	0.65
7	2.53	19	3.45
8	4.68	20	1.88
9	2.09	21	4.32
10	2.64	22	1.11
11	5.18	23	4.41
12	4.02	24	3.55

2 主观试验结果分析

2.1 速度挡位

图 1 给出了高低速工作挡位下汽车雨刮噪声烦恼度的评价结果,以分析挡位对雨刮噪声烦恼度的影响情况。由图 1 可以看出:

1)4种车型的高速挡烦恼度值均大于低速挡,且驾驶员和乘客对雨刮低速挡的噪声感受一般集中在有一点烦恼,而对高速挡噪声却集中于比较烦恼,高速挡比低速挡高两个烦恼度等级。

2)4辆车低速挡烦恼度排序和高速挡烦恼度排序由低到高均为3—1—4—2,说明对于同辆车,不同挡位的烦恼度影响变化趋势具有一致性。

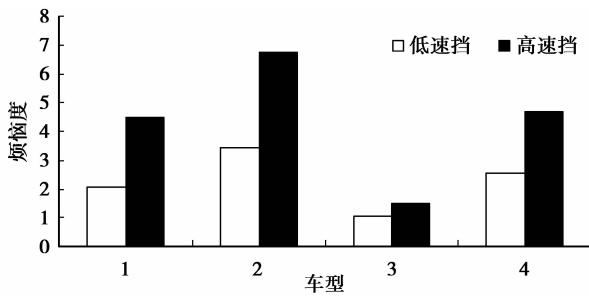


图1 高低挡烦恼度对比

2.2 刮刷方式

汽车雨刮器是周期性工作的,根据雨刮器的工作机制,将其每个刮刷周期(简称总刮)分为两个过程:从雨刮器下止点到上止点的上刮过程,简称上刮;从上止点到下止点的下刮过程,简称下刮。用统计学分析软件 SPSS^[15] 绘制出不同刮刷方式对雨刮噪声烦恼度的影响图。由图2可以看出,上刮、下刮烦恼度与总刮烦恼度的分布趋势基本一致,说明对于同辆车,不同刮刷方式的烦恼度影响程度也具有一致性。

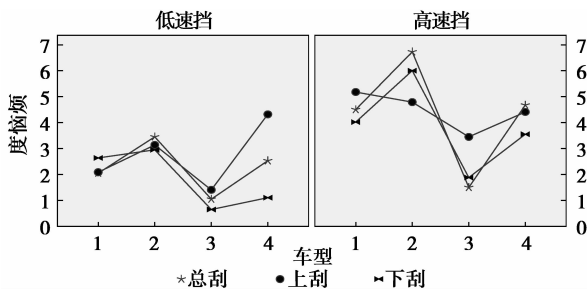


图2 不同刮刷方式烦恼度对比图

为了研究上下刮烦恼度对总刮的影响程度,将上刮、下刮结果分别与总刮进行 Pearson 相关性分析,结果显示,上刮与总刮的相关系数为 0.801,下刮与总刮的相关系数为 0.905,说明上刮、下刮的烦恼度与总体烦恼度间存在较密切的联系,且下刮对总刮烦恼度的影响程度较上刮大。

3 客观评价分析

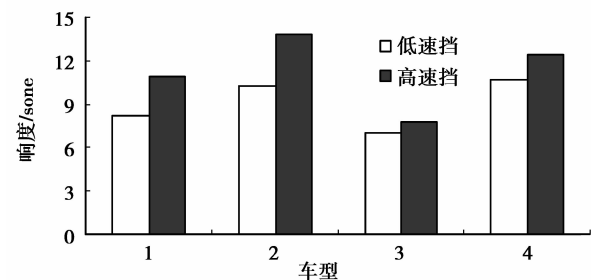
3.1 客观参量影响特性分析

声品质可以用物理声学参数和心理声学参数来量化描述,这些客观参数是国内外许多研究者通过深

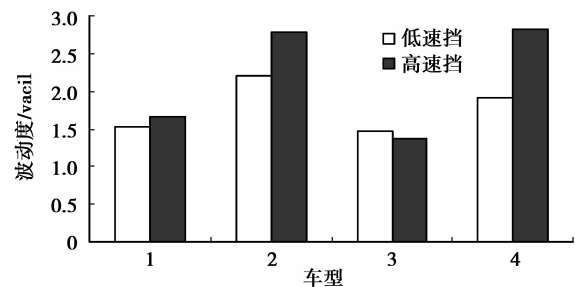
入研究人体的心理反应机制,并结合人们对声音的感知特性而得到的,能够描述人们的主观感受差异。采用 B&K 公司的 PULSE 软件中的计算方法和模型,计算出未经等响处理的 24 个声样本的物理声学参量(线性声压级和 A 计权声压级)和心理声学参量。

3.1.1 不同刮刷挡位客观参量分析

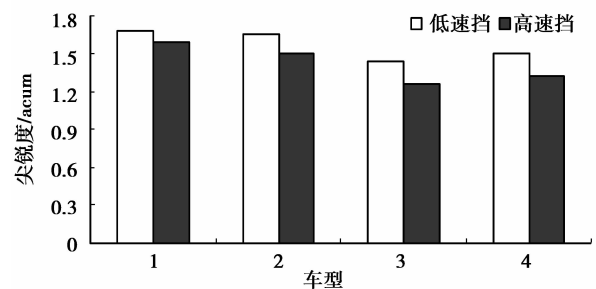
图3为不同刮刷挡位下4种车型的汽车雨刮器噪声的响度、波动度、尖锐度和粗糙度4个心理声学参量的变化图。



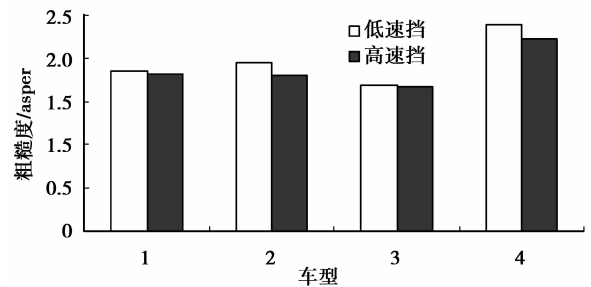
(a) 响度



(b) 波动度



(c) 尖锐度



(d) 粗糙度

图3 不同挡位雨刮器噪声客观参量变化图

图3(a)可以看出,高速挡的双耳响度均高于低速挡,且不同挡位的双耳响度值排序与主观结果一

致,由低到高均为 3—1—4—2;(b)图中的波动度除车型 3 外高速挡的值高于低速挡,但不同挡位的波动度值排序与主观结果不一致;(c)和(d)图中的尖锐度和粗糙度低速挡的值高于高速挡。说明响度和波动度是导致高速挡烦恼度大于低速挡的影响因素。

3.1.2 不同刮刷方式客观参量分析

图 4 为不同刮刷方式在高速挡下的 4 种车型的雨刮器噪声的 4 个心理声学参量变化图。可以看出,1、2、3 号样车上刮与下刮方式下的双耳响度、尖锐度和粗糙度的值非常接近,而波动度的值却存在很大差异,说明波动度是影响上下刮刷烦恼度不同的主要原因。

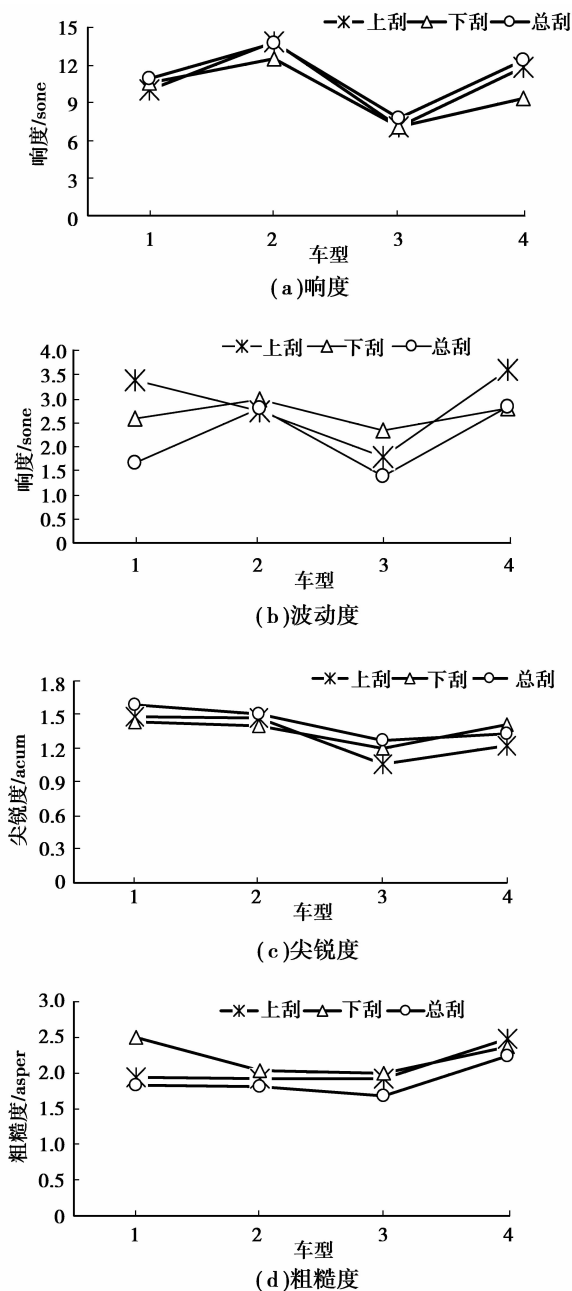


图 4 不同刮刷方式雨刮器噪声客观参量变化图

3.2 客观参量影响程度分析

3.2.1 相关分析

将 2 个声学基本物理量和 4 个常用心理声学参数的值与主观评价结果进行 Pearson 相关分析,以确定各参量对雨刮器声品质的影响程度。为了减小各参量之间的差异,采用以各参量与其最大值的比值作为数据值的方法进行归一化处理。表 2 可以看到主观烦恼度结果与响度的相关系数高于 A 计权声压级,进一步证明了响度比 A 计权声压级能更好地描述人们对声音的感受。心理声学参数中,波动度与主观评价结果的相关系数仅次于响度,应证了雨刮器噪声信号的非稳态特征。而尖锐度与烦恼度结果几乎不具相关性,由于雨刮器噪声主要集中于低频成分,人耳难以感觉到尖锐度的变化程度,因此尖锐度对主观烦恼度的影响较小。

表 2 烦恼度得分与各客观参量间的相关系数

线性声压级/dB	A 计权/dBA	双耳响度/sones	尖锐度/acum	粗糙度/asper	波动度/vacil
0.724	0.803	0.877	-0.034	0.309	0.688

3.2.2 主成分分析

主成分分析是一种探索性的技术,它将多个相互关联的变量转化为少数几个互不相关的综合变量。通过主成分分析,可以挖掘出变量间的相关性信息,从而避开变量间的共线性问题,以免信息重叠^[16]。采用 SPSS 软件对 6 个客观参量进行主成分分析,具体分析结果如表 3 所示,共提取出 3 个主成分,也即综合变量,综合变量的个数主要由主成分中“特征值>1”的个数来确定。从表 3 可以看出,变量“线性声压级”“A 计权”和“响度”归属为一组,且主成分 1 在变量“A 计权声压级”和“响度”上有较大的负荷,分别为“0.968”和“0.915”,说明声压级和响度两个参量对雨刮器烦恼度的描述具有同一性,对雨刮烦恼度的影响具有同步性,因而为避免信息重叠,只提取响度和波动度作为汽车雨刮噪声的主要影响因素。

表 3 主成分矩阵

客观参量	主成分		
	1	2	3
线性声压级	0.812	-0.391	0.387
A 计权	0.968	-0.066	0.013
响度	0.915	0.158	0.316
尖锐度	-0.266	0.737	0.618
粗糙度	0.535	0.539	-0.588
波动度	0.734	0.195	-0.185

4 结 语

通过对所采集制作的汽车雨刮器噪声样本的烦恼度进行主客观评价分析,得出响度和波动度是影响雨刮器噪声烦恼度及其高低速挡烦恼度不同的主要因素,波动度是导致上下刮刷烦恼度差异的主要因素。然而,这些研究结果并不完善,还需要增加声样本和客观评价量,以提高评价精度和分析的全面性,同时,还应从雨刮器的结构类型(有骨和无骨)、尺寸和材料等因素对人们感知雨刮噪声烦恼度的影响方面进行分析,雨刮器的动力学对噪声烦恼度的影响也需进一步研究。

参考文献:

- [1] Lee S K. Objective evaluation of interior sound quality in passenger cars during acceleration[J]. *Journal of Sound and Vibration*, 2008, 310(1/2):149-168.
- [2] Chen X, Wang D F, Ma Z D. Simulation on a car interior aerodynamic noise control based on statistical energy analysis[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2012, 25(5):1016-1021.
- [3] Parizet E, Guyader E, Nosulenko V. Analysis of car door closing sound quality[J]. *Applied Acoustics*, 2008, 69(1):12-22.
- [4] Guillaume L, Patrick S, Suzanne W, et al. The sound quality of car horns; designing new representative sounds[J]. *Acta Acustica United With Acustica*, 2009, 95(2):356-372.
- [5] 太平洋汽车网. 雨刮器异响[DB/OL]. [2012-01-21]. <http://www.pcauto.com.cn/tags/%E9%9B%A8%E5%88%AE%E5%99%A8%E5%BC%82%E5%93%8D/>.
- [6] Ahmad A, Zain M Z M, Abu-Bakar A R, et al. Application of input shaping control strategy for reducing chatter noise in the automotive wiper system [C] // Proceedings of the 2008 International Symposium on Information Technology, August 26-28, Kuala Lumpur, Malaysia. Piscataway: IEEE Press, 2008, 4:1-5.
- [7] Fan Z F, Luo H, Lu G F, et al. Direct dither control without external feedback for ring laser gyro[J]. *Optics & Laser Technology*, 2012, 44(4):767-770.
- [8] Awang I M, Leong C Y, Abu-Bakar A R, et al. Modeling and simulation of automotive wiper noise and vibration using finite element method [C/OL] // Proceedings of the 2nd Regional Conference on Vehicle Engineering and Technology, July 15-18, 2008, Kuala Lumpur, Malaysia. [2012-02-10]. <http://zh.scribd.com/doc/28002768/Modeling-and-Simulation-of-Automotive-Wiper-Noise-and-Vibration>.
- [9] Chu Y Z, Kawauchi W, El Dabb M A, et al. Backward swing noise reduction of windshield wiper using an embedded system[C] // Proceedings of the 2010 SICE Annual Conference, August 18-21, 2010, Taipei, China. Piscataway: IEEE Press, 2010:763-767.
- [10] 张立军,徐飞,王小博. 汽车刮水器摩擦引起的噪声特性试验分析[J]. *同济大学学报:自然科学版*, 2010, 38(7):1062-1068.
ZHANG Lijun, XU Fei, WANG Xiaobo. Experimental investigation into friction induced noise of automotive wiper system [J]. *Journal of Tongji University: Natural Science*, 2010, 38(7):1062-1068.
- [11] 赵勤. 摩托车声品质主观评价研究[D]. 重庆大学硕士学位论文, 2008.
- [12] Chouard N, Hempel T. A semantic differential design especially developed for the evaluation of interior car sounds [J]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1999, 105(2):1280-1280.
- [13] 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.
- [14] 毛东兴,俞悟周,王佐民. 声品质成对比较主观评价的数据检验及判据[J]. *声学学报*, 2005, 30(5):468-472.
MAO Dongxing, YU Wuzhou, WANG Zuomin. Statistical validation and criterion for paired comparison data in sound quality evaluation [J]. *Acta Acustica*, 2005, 30(5):468-472.
- [15] 赖国毅,陈超. SPSS 17 中文版统计分析典型实例精粹[M]. 北京:电子工业出版社, 2010.
- [16] 余桐奎. 基于主成分分析的振动噪声源耦合信息判别[J]. *舰船科学技术*, 2011, 33(9):96-98.
YU Tongkui. Coupling information recognition of the vibration noise source based on principal component analysis [J]. *Ship Science and Technology*, 2011, 33(9):96-98.

(编辑 张 苹)