

轿车车内噪声的主观评价

俞悟周, 毛东兴, 王佐民, 洪宗辉

(上海同济大学声学研究所, 上海 200092)

摘要:文章利用双耳听觉测量系统对某试验轿车在不同速度、不同路面、不同乘客位置下的车内噪声进行了主观评价,并对两种不同的评价方法——等级打分法和成对比较法的结果进行了比较。同时还给出了试验轿车车内噪声主观评价的一些结论。

关键词:主观评价;车内噪声;等级打分法

中图分类号:U467.4⁺93 **文献标识码:**A

Subjective evaluation of automobile interior noise

YU Wu-zhou, MAO Dong-xing, WANG Zuo-min, HONG Zong-hui

(Institute of acoustics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: With the increasing demand of automobile comfort, more attention is paid on the automobile interior noise. In the paper, binaural technology is applied to the subjective evaluation of automobile interior noise at different velocities and different passenger seats on different road surfaces. Comparison of results from two different methods: rank method and pair comparison method is made. Additionally, some subjective results of interior noise of test automobile are presented

Key words: subjective evaluation; rank method; automobile interior noise

1 引言

随着国内汽车工业的快速发展以及人们对汽车质量及舒适性要求的提高,汽车的卓越性能和优良品质成为汽车制造商追求的目标。车内噪声已成为影响人们对汽车质量的印象及购车选择的重要因素之一,车内噪声的控制问题日益显示出其重要性。自80年代以来,国际上的汽车厂家投入大量人力致力于降低车内噪声。但对不同的汽车,其车内噪声的特性不同。具有相同声级的噪声由于频谱结构的差异,引起人耳听觉感受大不一样。所以单纯降低噪声级并不能满足车内舒适性的要求。因此,从90年代中期开始国际汽车工业积极开展声品质(sound quality)的研究。声品质的研究实际上提出了现代噪声控制的理念,即噪声控制不仅仅是消极被动地降低噪声的声压级,而是能够依据顾客的主观评价,通过合理有效的措施,使特定产品的噪声听上去不仅仅安静,而且尽可能悦耳,甚至调节噪声至理想状态,并使不同的产品有各自独特的噪声特性。

传统上,与人耳听觉有关的量大多采用A计权

声级。但由于汽车车内噪声由于其低频成分占主导地位,而A计权网络对500Hz以下的频率成分衰减较大,因此车内噪声的A计权声级与人耳的主观感觉之间的相关性不强,用传统的A计权声级作评价指标并不合适。

本文采用仿真头系统对不同速度、不同路面、不同乘客位置的车内噪声进行了记录和回放,组织人员进行主观评价,并对评价结果进行讨论分析。

2 车内噪声主观评价方法

2.1 评价参量

文献中常用以下参量描述与车内噪声特性有关的声品质属性:愉悦度、活跃度、明亮度、力度、响度、粗糙度、音调、轰隆声、敲击声、嗡鸣声、脉冲度、平稳度等。由于国内在这方面的工作开展不多,作为探索阶级,受评价人员对某些评价参量理解的限制及评价经验的缺乏,不宜对所有这些评价量都进行评价。而且另一方面,有些参量之间有较高的相关性,如明亮度和高音音调,敲击声和脉冲度等。因此本文将采用以下评价参量:响度、烦恼度、尖锐度、脉冲度、声源方位感。

2.2 评价方法

车内噪声的主观评价主要有两种方法:等级打

收稿日期:2000-10-25;修回日期:2001-05-26

作者简介:俞悟周(1972-),女,福建长汀人,博士,讲师,主要的研究方向为环境声学和交通噪声。

分法(rank method)和成对比较法(pair comparison method)。

等级打分法是一种绝对评价方法。在这种方法中,评价参量的评价价值分成几档,表示主观感觉程度从最弱到最强。本文将评价价值分成7档,从1分到7分,程度最强的为7分,程度最弱的为1分(如表1所示)。评价人员根据自己的主观感觉对所回放的声音信号打分。

表1 等级打分法评价参量的评价价值

	7	6	5	4	3	2	1
响度:	很响	比较响	响	中等	安静	比较安静	很安静
烦恼度:	很烦恼	比较愉快	烦恼	不烦恼	有些愉快	愉快	很愉快
尖锐度:	很尖锐	比较尖锐	尖锐	中等	低沉	比较低沉	很低沉
脉冲度:	脉冲声很明显	比较	明显	中等	能感觉脉冲声	微弱	无感觉

成对比较法是相对评价方法。在成对比较法中,需要进行评价的几个声音记录经过排列组合组成若干组,每组两个。评价时,声音记录按组回放,每组先后回放记录A和B。评价人员对这两个声音信号的有关参量作感觉程度上的比较(如表2所示)。A比B程度强,则评价价值为1分;A与B一样则为2;B比A程度强为3分。作样本统计时,比例最大的评价价值作为样本群体的评价价值。比如对于某对记录的响度参量,如果选择“A比B响”的样本个数比选择“A与B一样响”及“B比A响”多,无论多的程度,该对记录的响度参量评价价值为“A比B响”或为1。

表2 成对比较法评价参量的评价价值

	1	2	3
响度	A比B响(A>B)	A与B一样响(A=B)	B比A响(A<B)
烦恼度	A比B烦恼(A>B)	A与B一样(A=B)	B比A烦恼(A<B)
尖锐度	A比B尖锐(A>B)	A与B一样(A=B)	B比A尖锐(A<B)
脉冲度	A比B脉冲声强(A>B)	A与B一样(A=B)	B比A脉冲声强(A<B)

2.3 评价人员的选取

目前汽车噪声的主观评价对评价人员的数目、评价经验等并没有统一的要求和选取标准,样本数目不等,对样本个体经验的要求也不一^[1~3]。结合我国的情况,本文考虑对评价人员样本的选取原则是:

- (1)根据待评价车型的潜在顾客群体范围;

- (2)根据目前我国驾驶执照对初学驾驶人年龄的限制范围,因此样本个体的年龄主要分布在25~40岁;

- (3)身体健康,两耳听力无缺陷,身体状况良好无异常。

本文评价工作中的样本分成两组,分别称为经验组和普通组,每组12人。经验组人员由声学专业人员组成,该组成员对各种声学事件有相当的经验;普通组成员为无声学经验的人员。

2.4 车内噪声信号

由于实地进行可重复的主观评价非常困难,因此采取在实验室回放噪声记录进行评价的方法。噪声信号的记录采用仿真人头测量系统,因为该系统的传输特性与人类类似,能够很好地再现人耳听觉。

为了了解不同工况下车内噪声的规律,我们选取了水泥路面上前排乘客座位在车速分别为40km/h、60km/h、80km/h、100km/h时的车内噪声记录(记录号分别为1、2、3、4);前排乘客位置上60km/h车速时路面分别为水泥路面、柏油路面和差路的车内噪声记录(记录号分别为2、5、8);水泥路面上车速为80km/h时仿真头位置分别为前排乘客位置、后排左边乘客位置、后排右边乘客位置的噪声记录(记录号分别为3、6、7)。

评价时,记录一般需重复回放2~3次。对于成对比较法,因为人耳对声音的记忆时间有限,待评价的一对记录之间的时间间隔尽量控制在2秒以内。

车内噪声的回放需要合适的听音环境。因为评价人员通过耳机监听回放,故听音室内不需要经过特别的声学处理,但要求背景噪声比较低,以防听音时受环境噪声的影响,评价记录被背景噪声掩蔽。

3 评价结果

两组样本等级打分法的评价结果如图1~5及表3所示。

3.1 评价人员样本对等级打分法结果的影响

不同的样本组对等级打分法评价结果的影响,由图1~5及表3有如下结论:

- (1)对于响度、烦恼度和尖锐度,经验组和普通组的样本评价均值相当,差值基本上不超过0.5(半级)。也就是说,经验组和普通组用等级打分法得到的评价价值在同一级内,即感觉程度相当。

- (2)对于脉冲度和声源方位感,经验组和普通组对某些噪声记录(如6号、8号)的评价价值差值明显,分属不同级内。

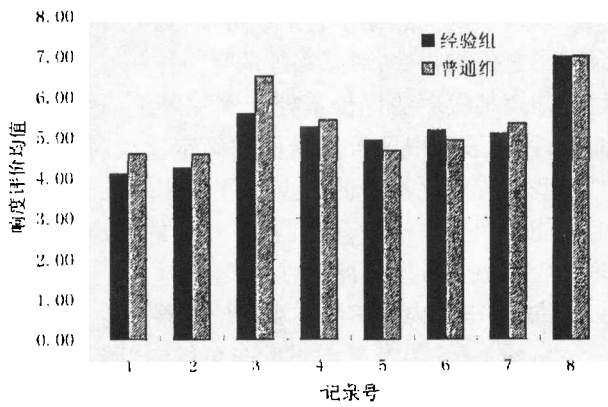


图1 响度评价均值

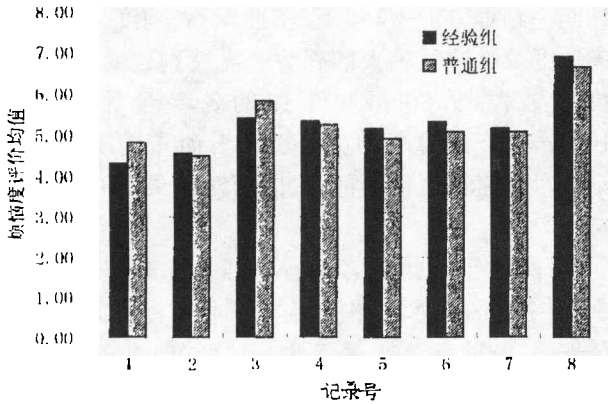


图2 烦恼度评价均值

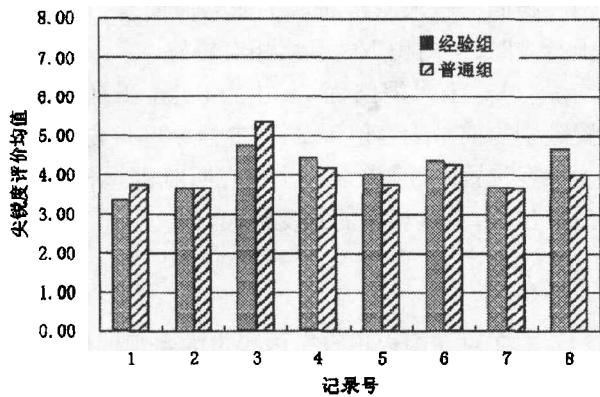


图3 尖锐度评价均值

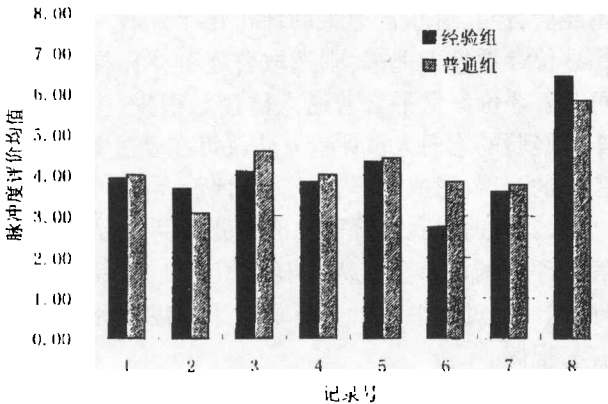


图4 脉冲度评价均值

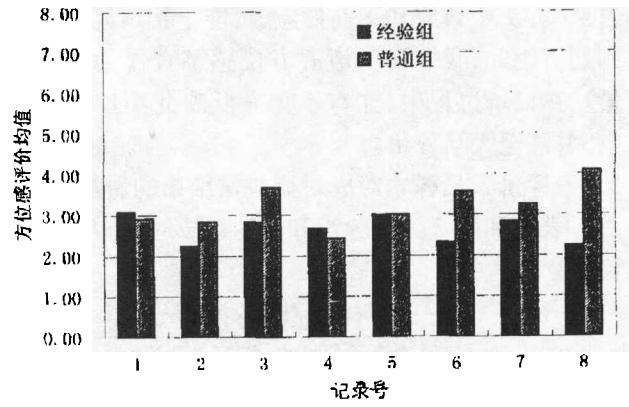


图5 方位感评价均值

表3 等级打分法经验组和普通组评价参量值的均方差

记录号	组别	响度均方差	烦恼度均方差	尖锐度均方差	脉冲度均方差	声源方位感均方差
1号记录	经验组	0.29	0.49	0.78	1.38	1.68
	普通组	0.67	0.72	0.45	1.13	1.24
2号记录	经验组	0.62	0.67	0.65	1.30	1.29
	普通组	0.67	0.67	0.65	1.16	1.47
3号记录	经验组	0.67	0.79	0.87	1.00	1.85
	普通组	0.67	0.72	0.98	1.00	2.35
4号记录	经验组	0.62	0.49	0.90	1.27	1.44
	普通组	0.51	0.75	0.83	1.35	1.68
5号记录	经验组	0.79	0.72	1.04	1.30	1.71
	普通组	0.78	0.67	1.14	1.08	1.81
6号记录	经验组	0.83	0.65	1.37	1.06	1.50
	普通组	0.67	1.00	0.87	1.27	1.88
7号记录	经验组	0.67	0.58	0.98	1.38	2.12
	普通组	0.65	0.90	0.98	1.29	2.09
8号记录	经验组	0.00	0.29	1.78	0.90	1.42
	普通组	0.00	0.49	1.60	1.34	2.11

(3)对于本文所评价的参量,经验组和普通组评价值的离散度并无明显差别,即经验组并没有表现明显的优势。分析其原因是,经验组成员虽平时接触各种噪声源较多,但并没有丰富的汽车噪声评价的经验,因此并不是真正意义上的评价经验组。

(4)对于比较容易理解的评价参量,如响度、烦恼度和尖锐度,评价值离散度相对较小,均方差基本上在1以内,即样本个体评价在评价均值相邻的档级内,在均值附近分布。

(5)对于平时接触不多或理解有困难的评价参量,如脉冲度,经验组和普通组均呈现较大的离散度。

(6)对于声源方位感,经验组和普通组的评价值离散度均较大,表明车内噪声的声源方位感较难评价。原因1可能是汽车车内噪声的来源多样化,不同的噪声源之间可能有掩蔽,难以判断主要噪声源方向,原因2是仿真人头记录方式的缺点是声像不

自然,有头中效应和头前效应,可能干扰声源方位的判别。因此,我们认为声源方位感不宜作为评价参量。在评价过程中,亦有不少人反映此项评价难度较大,甚至无从评价。

3.2 评价人员样本对成对比较法结果的影响

表4和表5为经验组和普通组成对比较法的评价结果。

表4 经验组成对比较法结果

评价参量	经验组评价结果(排序自弱至强)		
	不同车速	不同路面	不同位置
响度	1 2 4 3	2 5 8	6=7 3
烦恼度	1 2 4 3	2 5 8	6=7 3
尖锐度	1 2 4 3	2 5 8	6=7 3
脉冲度	2 1 4 3	2 5 8	6=7 3

表5 普通组成对比较法结果

评价参量	普通组评价结果(排序自弱至强)		
	不同车速	不同路面	不同位置
响度	2 1 4 3	2 5 8	6=7 3
烦恼度	2 1 4 3	2 5 8	6=7 3
尖锐度	1 2 4 3	2 5 8	7=6 3
脉冲度	2 4 3 1	2 5 8	6=7 3

表4和表5表明采用成对比较法时,经验组和普通组对大多数车内噪声记录的排序结果比较一致,表明样本的选取对结果影响不大。

3.3 等级打分法与成对比较法结果比较

根据等级打分法得到的各记录评价参量值,对相关记录作排序,结果如表6和表7所示。

将表6和表7分别与表4和表5比较,可以看出等级打分法和成对比较法得到的噪声记录间的排序结果相当一致。因此等级打分法和成对比较法的结果有较好的可比性。

表6 经验组等级打分法排序结果

评价参量	经验组评价结果(排序自弱至强)		
	不同车速	不同路面	不同位置
响度	1 2 4 3	2 5 8	7 6 3
烦恼度	1 2 4 3	2 5 8	7 6 3
尖锐度	1 2 4 3	2 5 8	7 6 3
脉冲度	2 4 1 3	2 5 8	6 7 3

表7 普通组等级打分法排序结果

评价参量	普通组评价结果(排序自弱至强)		
	不同车速	不同路面	不同位置
响度	1 2 4 3	2 5 8	6 7 3
烦恼度	2 1 4 3	2 5 8	7 6 3
尖锐度	2 1 4 3	2 5 8	7 6 3
脉冲度	2 1 4 3	2 5 8	7 6 3

等级法的优点在于它不仅可以得到不同噪声记录间参量值的排序,对感兴趣的噪声作相互比较,还可以知道某噪声的评价量处于哪一等级,不过相对而言,评价过程中评价参量值的确定比成对比较法难一些。成对比较法的优点是评价相对比较简单,但只能得到排序结果,而且若需评价的噪声记录较多,则比较组数过多,评价时间长。

3.4 试验车车内噪声的主观评价结果

由图1~5和表3,对试验车可得到以下结论:

(1)对于水泥路面、前排乘客座位,车速分别为40km/h、60km/h、80km/h、100km/h时,大致能得到同一路面,同一位置下,车速越高,响度、烦恼度、尖锐度及脉冲度越大的趋势。需特别说明的是,评价结果表明,80km/h车速的各参量评价价值比100km/h车速时高,但在80km/h时车内噪声信号记录时风速较大且不稳定,因而对结果有一定的影响。

(2)对于前排乘客位置、60km/h车速,路面分别为柏油路面、水泥路面和差路时,水泥路面听上去最安静,脉冲声最弱,声音也相对低沉,烦恼度最低;差路上行驶时,车内噪声很响,听上去很不舒服;另外由于路面的影响,脉冲声非常明显。对于常用的两种路面——水泥路面和柏油路面而言,水泥路面上行驶时,车内噪声的品质相对较好。

(3)对于水泥路面、车速为80km/h,仿真头位置分别为前排乘客位置、后排左边乘客位置、后排右边乘客位置时,前排乘客位置在听觉舒适性上不如后排位置,不过相差的程度不大。

4 总结

本文对在国内进行车内噪声的主观评价作了探索性研究,结果表明有以下一些主要结论:

(1)就目前而言,由于普通组缺乏主观评价的丰富经验,经验组和普通组的评价结果比较一致。如果评价参量易于理解,则选取普通群体作样本源即可。若评价参量平常普通人群接触很少,应选择有丰富经验的志愿人员评价。建议可在今后随着评价工作的开展,形成一群有经验的评价人员。

(2)目前对我国普通评价人员来说,较为容易理解和评价的评价参量为:响度、烦恼度、尖锐度。此外,在评价过程中评价人员认为平稳度的评价也较容易把握。

(下转第187页)

质,如水,在顶点处较少,其所含空化泡及其热容也较少的缘故。而温度计难以克服的升温惰性,即响应特性则决定了测温趋于饱和值所必要的时间(1min)使温度上升速率不易得到及时反应。当然,对超声喷泉温度特性的研究还应该在广域的超声参数条件下,以及对多种喷泉介质进行研究,以进一步明确这种特性的普适性和局限性,喷泉内三维温度特性的情况也未作研究或比较,也有必要继续进行。

谢辞:本研究由国家自然科学基金(19934001号)、中科院声场声信息国家重点实验室2001年度课题基金、江西省自然科学基金(19912008号)和赣南师范学院自然科学基金的资助。

参考文献:

- [1] Fint E B, Suslick K S. The temperature of cavitation[J]. Science, 1991, 253:1398-1399.
- [2] Crum L A, Sonoluminescence[J]. Physics Today, 1994:22-29.

(上接第184页)

(3)等级打分法和成对比较法的结果有较好的一致性,可根据实际情况采取合适的方法。如果需要评价的噪声记录数目相当多,或需要知道评价参量值的范围,则应选择等级打分法;如果评价噪声记录数目不多,且只需了解噪声之间的相对排序,则宜选择成对比较法。

(4)对于试验车而言,同一路面,同一位置下,具有车速越高,响度、烦恼度、尖锐度及脉冲度增强的趋势;同一乘客位置,同一车速下,水泥路面、柏油路面和差路路面相比,在水泥路面上行驶时,车内噪声的主观听觉印象较好,响度和烦恼度最低;同一路面,同一车速下,前排乘客位置在听觉舒适性上不如

- [3] Suslick K S, Doktycz S J, Flint E B. On the origin of sono-luminescence and sonochemistry[J]. Ultrasonics, 1990, 28: 281-282.
- [4] Li H, Yi Y, Li Z. The heat phenomenon produced by an ultrasonic fountain[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 1997, 4: 217-218.
- [5] 李化茂,李宇华,冯若.超声空化场速熔高分子化合物的现象及其机制[J].声学技术,2000,19(4):226-227.
- [6] Li H, et al., Underwater ultrasonic welding of plastics[C]. Proceedings of 8th International Congress on Sound and Vibration(July 2-6,2001,香港)2969-2972.
- [7] Li H. Cavitation concentration[C]. Proceedings of the International Symposium on Hydroacoustics and Ultrasonics, Gdanisk-Jurata, Technical University of Gdanisk, Naval Academy in Gdynia.
- [8] Leighton T G., Bubble population phenomena in acoustic cavitation[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 1995, 2(2): S123-S136.
- [9] 钱祖文.非线性声学[M].北京:科学出版社,1992.208-209.

后排乘客位置。

参考文献:

- [1] Hiroyuki Hoshino, Hiroyasu Katoh. Evaluation of wind noise in passenger car compartment in consideration of auditory masking and sound localization[J]. Sea Paper, 1999, 1:1125.
- [2] Rudolf Bisping, Soenke Giehl. A standardized scale for the evaluation of car interior sound quality. Sea Paper 971976.
- [3] Matthias Schneider, Michael Wilhelm. Development of vehicle sound quality—targets and methods[J]. Sea Paper 651283.

上海市声学学会建声噪声委员会组织召开声学材料产品应用技术介绍会

2002年9月6日下午,市声学学会建声噪声专业委员会会同市建筑学会与规划专业委员会和室内外环境设计专业委员会,联合召开了新型声学材料产品性能与应用技术介绍会,声学学会常务理事,建声噪声专业委员会主任章奎生教授代表两个学会、三个专业委员会主持了介绍会,来自本市建筑声学、环境声学、建筑设计及室内设计行业的近80多位专业技术人员出席了介绍会。会上首先由荷兰亨特建材集团公司对各类乐思龙金属吸声吊顶,金属墙面装修材料的产品性能及大量工程实例作了介绍;然后由德国科德宝无纺布公司对新型 Soundtex 无纺吸声布的吸声、防火、轻薄等特点与工程应用作了详细介绍,两家公司的多种声学装饰材料的展示和介绍受到与会设计、科研专业技术人员的欢迎,并表示学会专业委员会通过组织这样的活动沟通了企业与设计科研单位的联系,起到了很好的桥梁作用。

本刊编辑部