

轿车风噪声及其测量

俞悟周, 王佐民

(同济大学声学研究所, 上海 200092)

摘要: 高速行驶时, 风噪声是现代轿车的主要声源之一。其测量及评价通常在全比例汽车风洞中进行。本文介绍了轿车风噪声的形成及其重要的影响因素, 以及轿车风噪声的测量方法。

关键字: 汽车风洞; 轿车风噪声; 风噪声

中图分类号: TB53; 文献标识码: A

Wind noise of automobile and its measurement

YU Wu-zhou, WANG Zuo-min

(Institute of Acoustics, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract: Aerodynamic noise is one of the most important noise sources of modern automobiles. Usually, the measurement and appraisal of aeroacoustics of cars are done in full scale automobile wind tunnel. In this paper the mechanism and important affecting factors of interior aerodynamic noise of automobile are explained. The measurement method of interior aerodynamic noise is also presented.

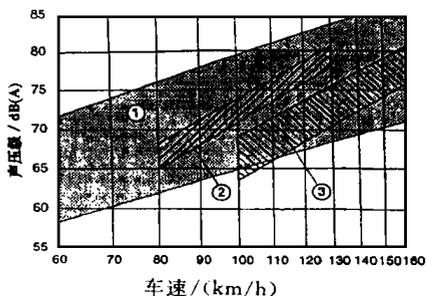
Keywords: wind tunnel; aerodynamic noise; wind noise

1 引言

随着人们对环保的日趋重视以及对现代汽车舒适性的要求, 汽车噪声越来越成为一项重要的指标, 影响着人们的购车选择。国际上汽车行业竞相加大用于噪声方面的投资, 以提高产品品质吸引顾客。

汽车(车内及车外)的主要声源为发动机组噪声、轮胎/路面噪声、风噪声。不同类型的汽车在不同的行驶速度下, 这三种噪声源的贡献有所不同。对于轿车而言, 当车速在60km/h以下时, 发动机组的噪声占主导地位。车速在60km/h到100km/h之间时, 轮胎/路面噪声成为贡献最大的主要声源。当行驶速度超过100km/h时, 风噪声的影响越来越显著。图1为在不同的行驶速度下, 汽车车外轮胎/路面噪声和风噪声的范围^[1]。图1表明

汽车风噪声随车速增加的趋势比轮胎/路面噪声快。



(1) 轮胎/路面噪声; (2) 小型运货车的风噪声
(3) 轿车风噪声

图1 汽车车外噪声

2 轿车风噪声的基本原理及其影响因素

汽车的展宽比较低, 在路面上行驶时

收稿日期: 99-12-15; 修订日期: 99-12-30

作者简介: 俞悟周 (1972年生), 女, 博士

产生非常复杂的流场,流场内存在相当多的气流分离区域。有侧向风时,气流分离更为严重。产生汽车风噪声的基本原因就是局域气流分离引起的,在车身及突出部件周围强烈起伏的紊流压力。存在紊流压力的部位归为两类:一类与基本车身的特征几何参量有关;另一类是保证行驶安全、舒适性等的附件。汽车的风噪声同空气动力拖曳特性之间并没有简单的对应关系。

风噪可以通过两种途径传播到汽车内部。一是空气声传播,也就是风噪声可通过车窗、各汽车外部件之间的缝隙、以及车门门缝等传播到车内。二是结构声传播,亦即相应的汽车部件在紊流压力的作用下产生振动,与车内耦合,引起噪声。

外部件之间的缝隙形成的原因主要是密封系统的设计问题、部件安装时的偏差。另外,车外气流的吸力作用导致密封系统及某些部件的变形,从而造成缝隙的产生。

敞篷车及有一至两扇车窗打开的汽车,在某些特定的车速范围内,还将存在震颤。震颤是由A-柱附近产生的涡流撞击敞篷或窗缘时,与车内腔体产生的共振引起的。

影响车内风噪声的主要因素有:车身的形状、后视镜、天线、敞篷、车顶货架、车窗、挡风窗、扫雨器、雨水槽、密封系统以及风与汽车的相对速度和方向。车身的形状主要由汽车的用途及空气动力学特性决定,因此降低车内风噪声一般是通过改变或替换相对微小的部件。这些部件的改革或替换会明显改变车内风噪声的特性。

图2、图3明显显示出后视镜、天线等附件对车内风噪声的影响^[2,3]。图2为在整车风洞内,风速160km/h,安装某后视镜前后某轿车车内1/3倍频程声压级频谱图。该图表明,与未安装后视镜的结果相比,安装后视镜将使1kHz以上的高频风噪声加强,最多可增加6dB。图3为车速110km/h时,某轿车安装不同天线(光滑直柱、光滑锥柱、内螺旋锥形、外螺旋锥形、声学技术

外螺旋锥形)后车内风噪声的实际路面测量结果,测量采用双耳人工头。天线安装在前排乘客座位右前方,因为人工头右耳靠近车窗,故右耳处的声压级明显比左耳高。最常用的光滑直柱和光滑锥柱天线在2kHz处产生窄带噪声,主观听觉上感觉为啸叫声。由于有效地干扰了引起2kHz噪声的涡流,外螺旋锥形天线产生的风噪声最低。天线引起的风噪声与天线的尺寸、材料、形状、安装的位置关系密切。

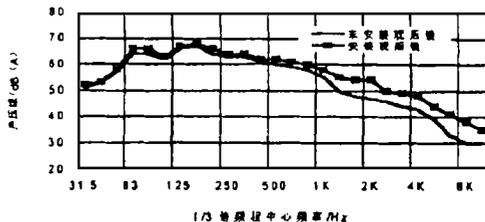
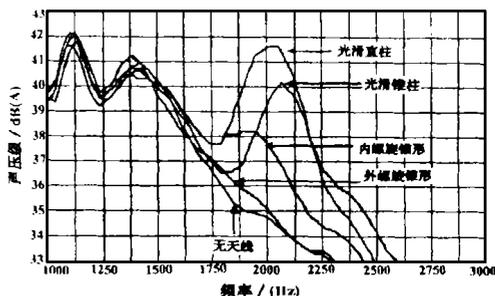
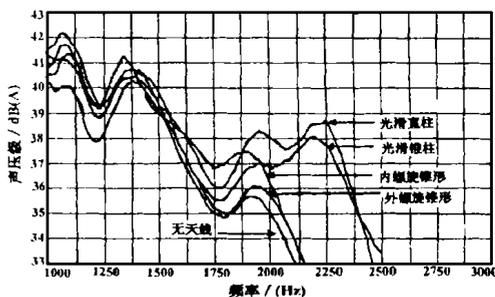


图2 某轿车安装某后视镜前后车内的声压级频谱图



(a) 前排乘客座位人工头右耳结果



(b) 前排乘客座位人工头左耳结果

图3 某轿车安装不同天线后车内的声压级频谱图

3 风噪声的测量

由于不恒定的风条件、气候因素的变化,以及其它噪声源的影响,诸如轮胎/路面噪声、发动机噪声、环境噪声等,在实际路面

上难以得到可重复的测试条件, 因此汽车车内、外风噪声的测量通常在整车风洞内, 在可精确调节风速、风向的条件下进行。由于消费者对车内舒适性的要求与日俱增, 因此汽车风噪声测量多为车内风噪声测量。

3.1 整车声学风洞

国际上, 全比例汽车风洞通常采用 Goettingen 型带开放测试段的封闭回路式风洞, 如图4所示。^{[1][4]}

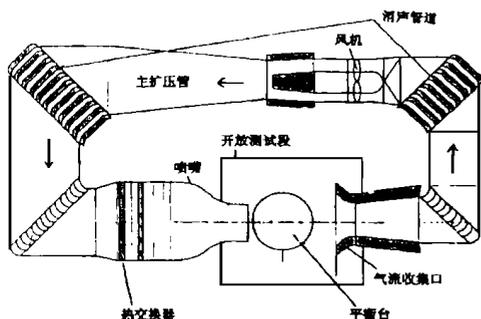


图4 某 Goettingen 型全比例汽车风洞示意图

Goettingen 型风洞的开放测试段能减少风洞边界对所测汽车气流的影响, 另一方面也提供足够的空间铺放合适的吸声材料, 使之成为半消声室。整车风洞内含有温度控制系统, 保证风洞内气流温度介于室外空气温度和摄氏50℃之间, 以提供特性良好稳定的高速气流。Goettingen 型风洞可以降低外部环境噪声向风洞内的传播, 同时也降低测试时风洞向外部环境辐射的噪声。

为了能有效地进行汽车噪声的测量, 整车风洞须经过一系列的声学处理。首先, 测试段应处理成半消声室, 一是用于评价汽车车外低频至高频风噪声, 二是降低测量车内风噪声时的背景噪声。其次, 风洞的4个拐角、风机、气流收集口均采取相应措施, 以保证测试段内有足够低的背景噪声, 至少应在不破坏气流特性的条件下, 中、高档轿车放置前后有10dB的声级差。确定声学措施时, 通常须结合空气动力性的要求, 选择合适的测试段的长度、汽车与喷嘴的距离、气流收集口的形状和张角、喷嘴与气流收集口的相对面积等。

由于风洞内气流噪声大致随风速的8次方递增, 而汽车的风噪声随车速的5~6次方递增, 当风洞内的风速达到某一临界值时, 气流背景噪声将超过测试汽车的风噪声, 另外也由于电力动力的限制, 故此通常整车风洞的最高风速不超过300km/h, 一般在180km/h以下测量风噪声。

3.2 车内风噪声的测量

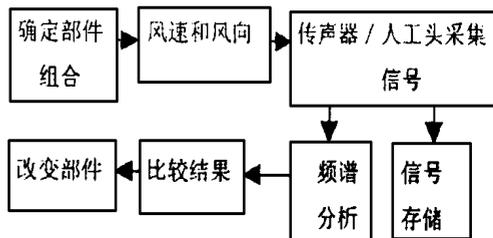


图5 汽车风噪声测量过程示意图

图5为风噪声测量过程示意图。开始测量前汽车安放在高精度、可转动的动力平衡台上, 平衡台有4个平衡组件, 平衡组件的位置可根据车轮的相互间距精确调节, 以使汽车车轮对称放置在平衡组件上, 车身轴与平衡台的中心轴平行, 也与喷嘴的中心轴平行。

测量车内风噪声时, 信号通常由放置在司机座位及(或)乘客座位上的多个单通道传声器或双耳人工头采集, 经过多次平均后做FFT变换, 得到车内声场频谱。人工头采集的信号应存储在磁带中, 以便回放做主观评价。人工头由具有人的平均声阻抗的模拟头颅和躯干组成, 耳内固定两只传声器, 能够很好地再现人的听觉特性, 提供更为可靠的主观评价。Goettingen 型全比例风洞普遍存在低频震颤, 一般认为该震颤是开放测试段内的涡流与风洞回路的某些声学模式耦合的结果。为消除震颤的影响, 所采集的信号需经过滤波。

传声器和人工头内双耳的位置通常在人耳的高度上, 座椅通常降至最低, 椅背放垂直。传声器放置在座椅与椅背交接处中部上方, 距离座椅0.7m。风向(气流与汽车的相对角度)通过精确控制转动测试室内安放测试车的平衡台转动角度得到。对于风噪声测量,

平衡台的转动角一般不超过20°:

根据测试车的车型及测试要求, 选择一系列风速和风向, 更换或改变对风噪声有影响的汽车部件, 在不同的部件组配条件下进行车内风噪声测量, 得到部件及部件配置对车内风噪声的影响并进行相互比较, 由此获得最优部件组配。

4 总结

在高速行驶时, 汽车三大噪声源之一的风噪声的影响将增强, 甚至超过其它噪声源。产生的原因是由局域气流分离引起的、在车身及突出部件周围不稳定的、强烈起伏的紊流压力。影响车内风噪声的主要因素为观后视镜、天线、车顶货架、车窗、挡风窗、扫雨器、密封系统等相对小部件。车内风噪声的测量和评价通常在全比例整车风洞内由放置于车内的双耳人工头测量系统获得。改变不同的部件及其配置, 可以得到车内噪声最低、听

觉上最好的部件组合。

参考文献:

- [1] J. Potthoff. Der Neue Aeroakustik-Fahrzeugwindkanal der Universitaet Stuttgart am Institut fuer Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen. Akustik und Aerodynamik des Kraftfahrzeugs, Haus der technik Essen, 1994.
- [2] Syed R. Ahmed. Flow-induced noise from ground vehicles-problems and prospects of numerical simulation. Society of Engineering Science, 35th annual meeting, 1998.
- [3] F. Kavarana and S. Stroope. Experimental investigation of radio antenna wind noise. SAE paper No. 971920, 1997.
- [4] J. Wiedemann and G. Wickern. Audi-aeroacoustic wind tunnel. SAE paper No. 930300, 1993.

(上接29页)

的体模。体模的制作中, 乳化技术是关键, 采用洗洁剂作乳化剂时, 容易在乳化过程中引入气穴, 因而可适当提高明胶比例并采用高速自动搅拌器完成乳化。通过在超声热疗系统上的实验, 发现本体模与活体动物软组织的温升情况虽然比较接近, 可用于对超声温度场的估计中, 但由于忽略血流对生物热传导的影响而引入的误差仍不可忽视, 因此仍需作更进一步的研究。

参考文献:

- [1] J. W. Baish et al. Perfused phantom models of microwave irradiated tissue [J]. J. Biomechan, 1986; 108: 239 ~ 245.
- [2] I. S. Sandhu. Thermal dosimetry system with blood flow simulation [J], NCI Monograph, 1982; 61: 513 ~ 515.
- [3] P. R. Stauffer et al. Validity of an vivo tissue model for hyperthermia dosimetry [C]. Proc.

IEEE/Ninth Ann. Conf. Eng. Med. Biol. Soc, 1987: 997 ~ 999.

- [4] P. J. Benkeser et al. A Perfused Tissue Phantom for Ultrasound Hyperthermia [J], IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1990; 37 (4): 425 ~ 428.
- [5] Ernest L. Madsen et al. Oil-in-gelatin Dispersions for Use as Ultrasonically Tissue-mimicking Materials [J], Ultrasound in Med & Biol, 1982; 8 (3): 277 ~ 287.
- [6] Junru Wu et al. Temperature rise in a Tissue-mimicking Material Generated by Unfocused and Focused Ultrasonic Transducers [J], Ultrasound in Med & Biol, 1992; 18 (5): 495 ~ 512.
- [7] 万明习, 卞正中, 程敬之. 医学超声学原理与技术 [M]. 西安交通大学出版社, 1992.
- [8] 周祖康, 西姆恩斯. 胶体与表面化学原理 [M], 北京大学出版社, 1986.