

文章编号: 1006-1355(2014)01-0201-04

基于赛宾原理的车内平均吸声系数现场测量

张晋源¹, 袁苗达¹, 杨洋¹, 褚志刚²

(1. 重庆工业职业技术学院 车辆工程学院, 重庆 401120;

2. 重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044)

摘要: 为有效测量内饰材料在实际汽车中的平均吸声系数, 准确评价分析车内声学性能, 提出基于赛宾原理的车内平均吸声系数现场测量方法以及详细的测量计算流程。针对某轿车的测量试验结果表明: 该方法有效可行; 1 250 Hz以上频段, 该轿车的车内平均吸声系数基本保持稳定, 约为0.33。研究结果为车内平均吸声系数的现场测量提供有效方法, 为轿车内饰声学性能的评价分析提供依据。

关键词: 声学; 赛宾原理; 车内平均吸声系数; 现场测量

中图分类号: TB52; U467.1

文献标识码: A

DOI编码: 10.3969/j.issn.1006-1355.2014.01.045

In-situ Measurement of Average Sound Absorption Coefficients in Cars Based on Sabin Principle

ZHANG Jin-yuan¹, YUAN Miao-da¹, YANG Yang¹, CHU Zhi-gang²

(1. Faculty of Vehicle Engineering, Chongqing Industry Polytechnic College,
Chongqing 401120, China;

2. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract : To effectively measure the average sound absorption coefficient of the interior trim materials of cars and accurately evaluate their acoustical performance inside the car, an in-situ measurement method of the average sound absorption coefficients based on Sabin principle is proposed. The corresponding process for measurement and calculation is given in detail. The measurement result of a car testing shows that this method is effective and practical, and the average sound absorption coefficient, approximately 0.33, in the car holds steady in the frequency range above 1 250 Hz. This work provides a method for acoustical performance evaluation and analysis of the interior trim materials of cars.

Key words : acoustics ; Sabin principle ; average sound absorption coefficient in car ; in-suit measurement

汽车车内噪声是汽车性能的重要方面, 采用具有优良吸声性能的内饰材料是改善车内噪声品质的重要措施。吸声系数是衡量内饰材料吸声性能的重要指标, 采用合理有效的方法准确测定车内平均吸声系数是评价、分析、改进内饰声学性能的前提, 对进一步降低车内噪声、改善车内声学环境具有重要意义。

传统的声学材料吸声系数测量常在实验室内进行, 采用的典型测量方法主要有混响室法^[1, 2]和驻波

管(阻抗管)法^[3-6]。混响室法将材料样件置于混响室内, 在混响室内测量从声源停止发声到其声能衰减60 dB时所经历的时间, 即混响时间, 基于赛宾原理所建立的混响时间与混响室体积、材料样件表面积、混响室表面积间的关系来确定材料的吸声系数, 其可以得出声波无规则入射时材料的平均吸声系数^[7-9]。驻波管法将材料按照一定规格准确切割后放入驻波管内, 利用移动的单传声器测量驻波管中声压的极小值和极大值或利用双传声器测量两传声器间的传递函数来确定吸声系数, 其测量结果为声波垂直入射时材料的吸声系数^[8, 9]。上述实验室测量无法有效考虑材料在实际汽车中的安装布置、边界条件、材料成形参数等因素, 测量结果不能完全反映材料在实际汽车中的吸声性能^[10], 因此, 近年来, 材料吸声系数的现场测量方法备受关注, 丹麦Brüel

收稿日期: 2013-03-13

作者简介: 张晋源(1981-), 男, 硕士, 讲师, 主要从事汽车振动噪声及故障检测方面的研究工作。

E-mail: jy Zhang25@163.com

通讯作者: 褚志刚, 博士, 副教授。

E-mail: zgchu@cqu.edu.cn

& Kjær 公司^[10]将实验室驻波管法引入到现场测量中,开发了手持式驻波管,其可以在车内测量不同局部位置内饰的吸声系数,但无法测量计算整个车内空间的平均吸声系数,因此无法反映整体吸声性能。为有效测量车内平均吸声系数,本文提出了基于赛宾原理的现场测量方法,把密封的汽车车内声场近似作为一个混响场,放置声源于车内发声,布置传声器于车内典型位置测量声音信号并计算混响时间,基于赛宾原理确定平均吸声系数,该方法简单方便,不需要昂贵的混响室,成本低,能够有效测量内饰的平均吸声系数,具有较高的工程应用价值。

1 测量原理

吸声系数为材料吸收的声能量与入射到材料表面的总声能量的比值,是衡量材料吸声性能的重要指标。定义混响时间 T 为混响声场内声源停止发声至车内声能衰减 60 dB 时所经历的时间,赛宾原理表明混响时间 T 反比于混响场内壁面材料的平均吸声系数 α ,如式 1 所示

$$T = \frac{0.163V}{S\alpha} \quad (1)$$

其中 V 为混响场空间体积, S 为混响场内总表面积。

混响时间的测定是计算吸声系数的关键,试验把密封的汽车车内声场近似作为一个混响场,采用单一声源在车内发声,采用多个固定位置的传声器测量声音信号,称声源与传声器间的相对位置关系为配置,图 1 为两个配置的布局示意图。为准确地测量混响时间,采用多个配置,且每个配置进行多次重复测量。设配置总数为 I ,传声器数目为 M ,每个配置进行 N 次重复测量。

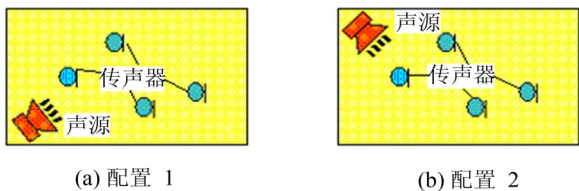


图 1 配置布局示意图

图 2 为由各传声器测量的声音信号计算吸声系数的算法流程图,首先,对每个配置的每个传声器的 N 次重复测量信号分别进行 CPB 滤波得各次测量的信号在不同频率时的衰减曲线,然后,在某频率条件下,平均化对应该频率的 N 条衰减曲线得平均衰减曲线,并由该曲线获取该频率的混响时间,同理计算所有频率对应的混响时间得混响时间谱,接着,平均所有配置所有传声器的共 $I \times M$ 个混响时间谱得平均混响时间谱,最后,基于赛宾原理求取各频率的吸

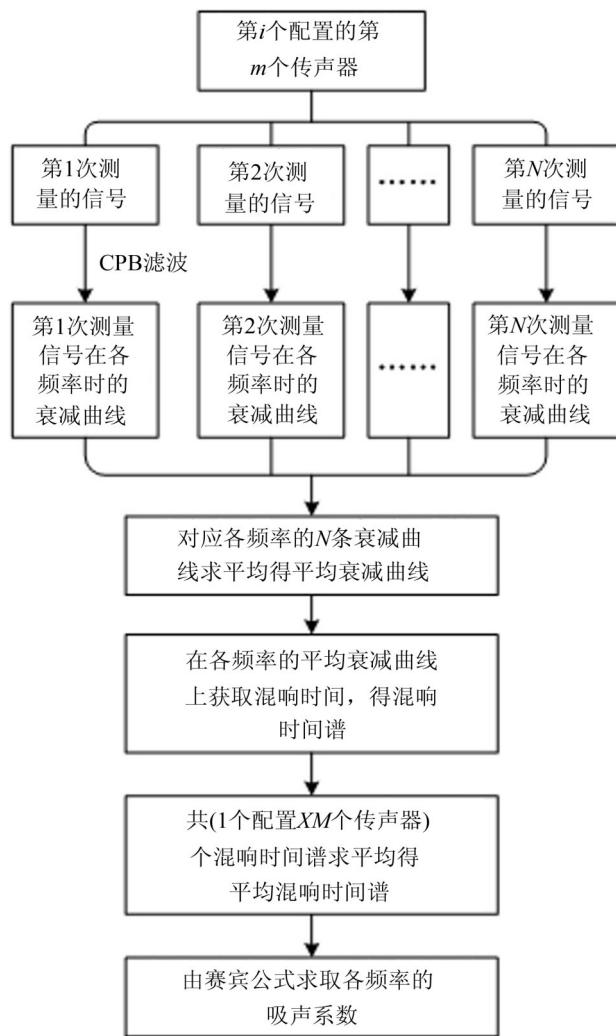


图 2 算法流程图

声系数。

2 试验测量

为验证上述方法的有效性,进行某轿车车内平均吸声系数的现场测量试验,图 3 为试验布局示意图,采用如图 3(a)所示的无指向性声源置于车内 4 个不同位置发声,对每个声源位置,均采用 4 个传声器测量声音信号,4 个传声器分别固定在不同座椅头枕上,如图 3(b)所示,即本试验采用 4 个配置,此外,每个配置下重复测量 3 次。试验时,为了降低孔缝泄漏对吸声系数测量结果的影响,对车辆上的孔缝进行了堵塞密封,并利用彩雾试验进行确认。

以第 1 个配置的第 1 个传声器为例,第一步,对其 3 次重复测量的信号分别进行 CPB 滤波得各次测量的信号在不同频率时的衰减曲线,图 4 为其 3 次测量的信号经 CPB 滤波后得到的衰减曲线瀑布图,三幅图均在约 0.5 s 时刻,声源停止发声,此后,各频率条件下的声能量均开始衰减,最终在本底噪声值附近波动,此外,对比图(a)、(b)、(c),三者差异很小,表明试验工况稳定,测量一致性好;第二步,在某频率



(a) 无指向性声源

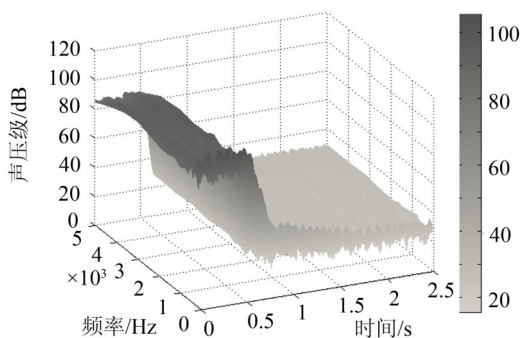


(b) 传声器布置

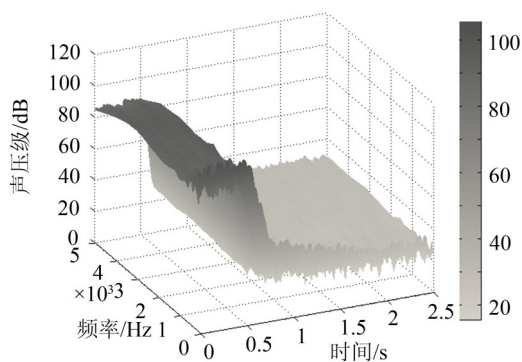
图3 试验布局示意图

条件下,平均化对应该频率的3条衰减曲线得该频率的平均衰减曲线。

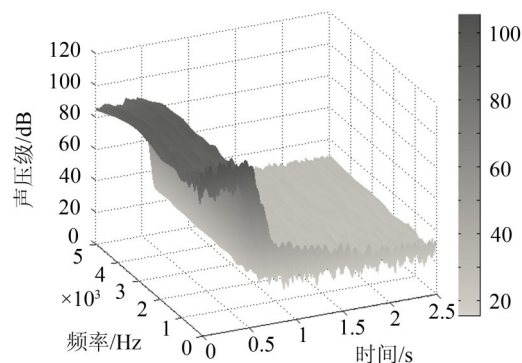
图5(a)中的浅灰色曲线为1 000 Hz时第1个配置的第1个传声器的测量信号的平均衰减曲线,在平均衰减曲线上选择20 dB的区段进行线性回归,计算所拟合直线的斜率,60 dB与该斜率绝对值的比值即为混响时间,20 dB区段的极大值通常由衰减曲线起点到开始衰减点的平均声能量减去5 dB来确定,极小值由极大值减去20 dB确定,图5(a)中的黑色粗实线即为20 dB区段线性回归拟合的直线段,其斜率约为-560.7 dB/s,因此,1 000 Hz时第1个配置的第1个传声器测得的混响时间约为0.107 s,除20 dB区段线性拟合外,30 dB区段线性拟合也是求取混响时间常用的方法,其基本思路与20 dB区段线性拟合相同,只是将拟合区段设为30 dB,图5(a)中的深灰色虚线为30 dB区段线性回归拟合的直线段,由此求得的混响时间约为0.105 s,与20 dB区段线性拟合法求得的0.107 s仅相差0.002 s,表明1 000 Hz时二者具有较好的一致性,进一步,图5(b)给出了100 Hz低频时第1个配置的第1个传声器的测量信号的平均衰减曲线,显然,其平均衰减曲线下降段波动较大,线性区段较短,这将造成拟合区段越长,计算误差越大,因此,为减小低频时的拟合误差,本文采用20 dB区段线性拟合来计算混响时间;第三步,按照第二步描述的方法计算所有频率的混响时间得混响时间谱,图6中带“○”实线为第1个配置的第1个传声器测得的混响时间谱。按照上述步骤



(a) 第1次测量



(b) 第2次测量

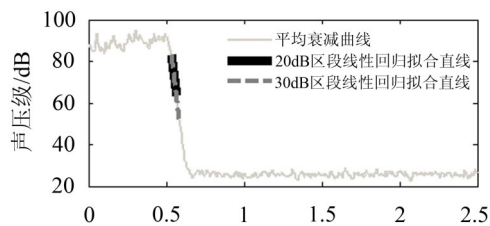


(c) 第3次测量

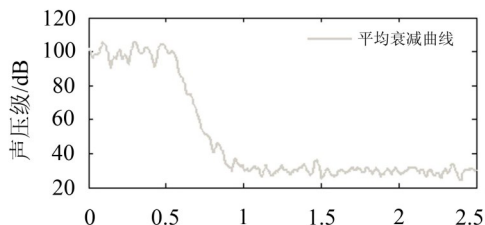
图4 第1个配置的第1个传声器3次测量的信号的衰减曲线瀑布图

对第1个配置的第2、3、4传声器的测量信号进行计算,所得的混响时间谱如图6中破折线、点线、点画线所示,对比可见,315 Hz以下低频段,四个传声器测得的混响时间差异较大,250 Hz时,第1个传声器测得的混响时间低于第2个传声器约0.15 s,这主要是因为低频段车内空腔声场具有较多的整体声腔模态,这些声腔模态的存在使其无法形成较好的混响场^[12]的缘故,315 Hz以上频段,四个传声器测得的混响时间差异很小,车内声场很接近混响场。

按照上述步骤对每个配置的第1个传声器的测量信号进行计算,将得出4×4个混响时间谱,平均化这些混响时间谱得平均混响时间谱,如图7所示。进一步,基于式(1)所示的赛宾原理计算各频率的吸声



(a) 1 000Hz 时间/s



(b) 100Hz 时间/s

图5 1 000 Hz时第1个配置的第1个传声器的测量信号的平均衰减曲线

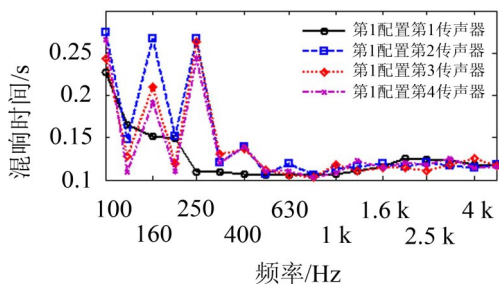


图6 第1个配置各个传声器测得的混响时间谱

系数,计算需要的车内空间体积约为 5.2 m^3 ,车内总表面积约为 22.3 m^2 。图8为计算得出的吸声系数随频率的变化曲线,在 $100 \text{ Hz} \sim 315 \text{ Hz}$ 低频段,吸声系数较低且随频率波动变化,测量结果误差大,究其原因主要是因为针对车内空腔尺寸,上述频率范围内,车内空腔声场具有较多的整体声腔模态,这些声腔模态的存在使其无法形成较好的混响场^[12],从而导致测量不准确,与图6呈现的结果也相吻合; $315 \text{ Hz} \sim 1\,250 \text{ Hz}$ 频段,吸声系数随频率的增加而递增,在 $1\,250 \text{ Hz}$ 时达到0.33,随后,吸声系数随频率的变化较小,基本保持稳定状态,该趋势与典型吸声系数随频率的变化趋势吻合,表明在 315 Hz 以上的频段,本方法可行。

3 结语

本文提出了基于赛宾原理的车内平均吸声系数现场测量方法,进行了某轿车车内平均吸声系数的现场测量试验,取得的主要结论如下:

提出的基于赛宾原理的车内平均吸声系数现场测量方法能够有效测量汽车内饰的平均吸声系数,该方法不仅有效可行,而且简单方便,成本低,具有较高的工程应用价值;

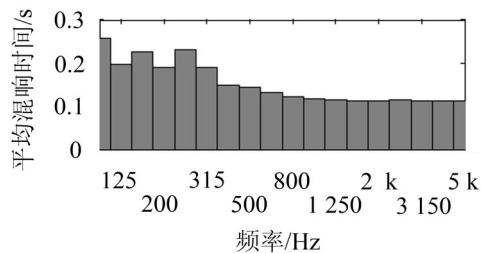


图7 平均混响时间谱

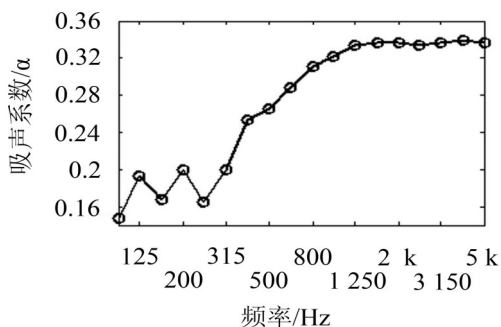


图8 吸声系数随频率的变化曲线

针对某轿车的测量试验结果表明:中高频段该轿车的车内平均吸声系数约为0.33。为评价分析该轿车内饰的声学性能提供依据。

参考文献:

- [1] ISO 354- 2003, Acoustics - measurement of sound absorption in a reverberation room[S].
- [2] GBJ47-1983, 混响室法吸声系数测量规范[S].
- [3] ISO10534.1- 1996, Acoustics - determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes- Part 1: Method using standing wave ratio[S].
- [4] GB/T 18696. 1-2004, 声学 阻抗管中吸声系数和声阻抗的测量 第1部分:驻波比法[S].
- [5] ISO10534.2- 1998, Acoustics - determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes- Part 2: Transfer function method[S].
- [6] GB/T 18696. 2-2002, 声学 阻抗管中吸声系数和声阻抗的测量 第2部分:传递函数法[S].
- [7] 叶江涛, 刘 岩, 张晓排. 混响室中不同试件面积对吸声系数的影响研究[J]. 噪声与振动控制, 2009, 29(2): 134-136.
- [8] 胡 恒, 郑四发, 郝 鹏, 等. 材料吸声系数双传声器测量的参数识别方法[J]. 应用声学, 2008, 27(4): 305-310.
- [9] 何文芳, 戴天兴, 李万鹏, 等. 基于混响法测试架空水膜的吸声特性[J]. 噪声与振动控制, 2009, 29(5): 152-155.
- [10] 匡 正, 叶 超, 吴 鸣, 等. 一种现场测量材料吸声特性的新方法[J]. 声学学报, 2010, 35(2): 162-168.
- [11] Paul B Murray, Flemming S Larsen. Development of a high SPL state-of-the-art portable flanged impedance tube [C]. Noise and vibration: emerging methods NOVEM 2012, Sorrento, Italia, April 1-4, 2012.
- [12] 赵金斗. 汽车车内噪声预测与控制研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.