

测量吸声系数的多传声器脉冲响应方法

蒋伟康, 张继萍, 吴宗光, 韩雪华

(上海交通大学振动、冲击、噪声国家重点实验室, 上海 200030)

摘要: 脉冲响应法是测量吸声材料或吸声结构吸声系数的一种简单易行的方法, 但使用单个传声器难以排除被测对象散射效应的影响, 因此不能测量具有不平整表面构件的吸声系数。针对这一缺陷, 本文提出了一种用多个传声器同时测量反射脉冲的实验分析技术, 可以排除被测对象的反射与散射指向性对吸声系数分析的影响, 故可用来测量具有不平整表面吸声结构在各种不同入射方向下的吸声系数。用该方法在半消声室内分析了一种表面呈锯齿形的声屏障斜入射吸声系数, 结果表明本文提出方法可以满足工程应用的要求。

关键词: 吸声系数; 脉冲响应法; 声屏障

中图分类号: O422.4 文献标识码: A

An impulse response method with multi-microphones for investigating the absorption coefficient

JIANG Wei kang, ZHANG Ji ping, WU Zong guang, HAN Xue hua

(Institute of Vibration, Shock & Noise, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The Impulse Response Method (IRM) is widely used in investigating the absorption coefficient of some acoustical absorptive materials and structures. However, the IRM with single microphone usually fails to be applied to an unsmooth absorptive surface, since the scattering effect interferes with the measurement. A multi-microphone impulse response method is presented to study the absorption coefficient of the structures with various surfaces, by which the orientation effect of reflection and scattering can be eliminated in measuring absorption coefficient. The absorption coefficient of a sound barrier which absorptive surface consists of some triangle units is studied in multi-microphone IRM in a semi-anechoic chamber. The results show that the new technique can be applied to engineering.

Key words: absorption coefficient; impulse response method; sound barrier

1 前言

脉冲响应法是测量吸声材料或吸声结构的斜入射吸声系数的常用方法^[1-5], 可以在消声室进行, 也可在一般测量条件的场所进行, 因其简单易行等优点而被经常采用。该实验分析方法是分别测量入射脉冲声, 由全反射面和吸声材料(或结构)反射声强之比来分析吸声系数的, 因此, 测量条件的一致性获得正确结果的前提。

对于非平整表面的吸声结构, 由于镜向反射的条件不复存在, 被测对象同时存在吸声和散射两种现象, 反射声压的高低不仅取决于被测对象的吸声性能, 还与被测对象的散射情况有关。而且, 由于反

射与散射的指向性规律比较复杂, 一般很难找到安装传声器的合适位置, 使之接收的反射声信号充分反映被测对象的吸声性能。由于上述困难的存在, 有关用脉冲响应法测量具有较强散射效应的对象吸声系数的技术尚未见诸文献。

本文提出了一种考虑散射效应的多传声器脉冲响应实验分析技术, 该方法可以排除散射效应的影响, 测量具有不平整表面吸声结构在不同入射方向下的吸声系数。用该方法在半消声室内分析了一种表面呈锯齿形声屏障的斜入射吸声系数, 结果表明, 用本文提出的方法可以分析具有不平整表面吸声结构的吸声系数, 满足工程应用的要求。

2 一种考虑散射效应的脉冲响应实验分析技术

2.1 单传声器脉冲响应法及其局限性

已有多种用脉冲响应信号测量界面吸声系数的方法被提出, 其中以 V. K hl 和 B B Meyer 提出的

收稿日期: 2000-07-10; 修订日期: 2000-08-31

作者简介: 蒋伟康(1964-), 男, 上海人, 工学博士, 教授, 博士生导师, 主要从事噪声分析与控制、振动分析与控制的研究。

经典方法^[1]最为简单、快捷,可用于研究表面粗糙度远小于入射声波波长的光滑界面。显然,该方法是建立在镜像反射前提之上的。

但分析具有明显非平整表面构件的吸声性能时,由于镜向反射的条件不复存在,不仅反射声线会偏离理想的方向(即反射角等于入射角的方向),非平整表面还导致较严重的散射现象。另外,由于非平整表面的不均匀性,研究其一部分面积的平均吸声性能比研究某一点的吸声性能更具有意义。

用声线来描述斜入射脉冲声作用于非平整表面构件的情况如图1所示,一组宽度为 $\Delta L \cos \theta$ (ΔL 为待分析区域的宽度, θ 为入射角)的平面波入射声线作用于待分析区域,反射和散射的共同作用将产生多条反射声线。反射声线的数量和方向都与脉冲声源的频率、位置和方向密切相关,其指向性规律通常十分复杂,可设无吸声试件反射的等声压面为花形曲面 C ,同样外形吸声试件的反射等声压面则为 C' , C' 可视作是 C 的不等量收缩。普通的脉冲响应法用一个传声器测量镜像反射来测量吸声系数,显然不能正确反映非平整表面构件的吸声性能。

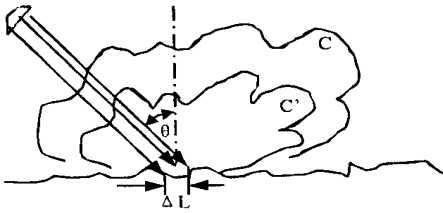


图1 散射结构吸声系数测量原理图

2.2 多传声器脉冲响应法实验设计

在被测试件的主反射方向附近布置多个传声器,测量主反射方向附近反射信号的平均声强,测量时若能保证无吸声对比试件的散射条件与被测试件相同,则比较待测试件和对比试件的平均反射声强,就可确定被测试件在该入射方向的平均吸声性能。

根据上述原理设计的实验装置如图2所示,被测试件平铺安装于半消声室地面中央,试件中轴线上方的障板可以阻挡传声器接收扬声器的直达声,障板下端与试件之间留有一段距离,可让扬声器发出的脉冲声经试件表面反射至障板的另一侧。按不同入射角 θ 安装扬声器于障板的一侧;障板的另一侧布置一系列传声器阵,传声器以围绕反射点的圆弧型布置方式最为理想,但实际使用中,考虑到传声器的数量限制和安装方便,直线式布置的传声器阵也能满足工程测量的要求。

实验测量时,自行研制的专用脉冲信号发生器

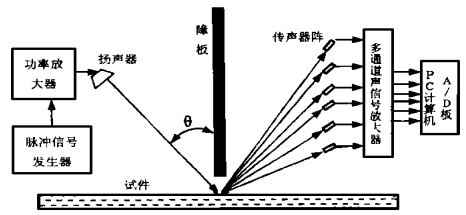


图2 多通道脉冲响应法测量吸声系数原理图

发出脉冲信号,经功率放大之后驱动扬声器,扬声器发出的脉冲声经试件反射至障板的另一侧,所有传声器同步接收的反射脉冲声信号,经放大和多通道A/D转换后输入至PC计算机。

扬声器的选择和障板的布置原则与单传声器的脉冲响应法相同:指向性强的扬声器测量效果较好;障板与试件间的距离与声源的波长有关,距离过大,声源发射的低频成份容易绕射至接收传声器,影响测量精度,距离过小,则反射声难以通过。

在测得试件的反射脉冲声后,用表面形状相同的不吸声对比件代替被测的吸声试件,保持其他实验条件不变,再测量一次反射脉冲声,通过比较吸声构件和无吸声构件的反射脉冲声强来分析试件的吸声系数。

根据计算机采得的脉冲声时域信号,可获得 $1/3$ 倍频程谱,并按下式计算入射角为 θ 时,各 $1/3$ 倍频程中心频率的吸声系数:

$$\alpha_0 = 1 - (p^2/p_r^2) \quad (1)$$

式中 p 和 p_r 分别是用吸声试件和不吸声构件实验的反射声的 $1/3$ 倍频程有效声压,假设传声器阵共由 n 个传声器组成,则 p 可由式(2)计算:

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2} \quad (2)$$

式中 $p_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 是第 i 个传声器测得的 $1/3$ 倍频程有效声压。 p_r 的算法与此类似。

2.3 脉冲信号发生器

脉冲响应法分析吸声系数实验时,脉冲信号的选择直接影响测量精度。理想的脉冲声信号中的各频段成份应比较均匀,以保证在分析 $1/3$ 倍频程吸声系数时所用的声信号有足够的信噪比。另外,每个脉冲信号还要有很好的重复性,产生脉冲的周期要适合采样等方面的要求。

由于没有性能合适的市售脉冲信号发生器,自行设计了一种周期可调通/断多谐数字式振荡器用来产生均匀的脉冲信号串,其电路原理见图3。

该电路主要由时基电路 IC_1 (NE555)和14级二进制串行计数器/分频器 IC_2 (CD4020)等构成。NE555组成多谐振荡器的通/断周期很长,本电路采

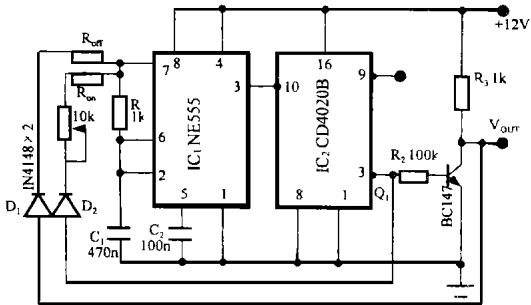
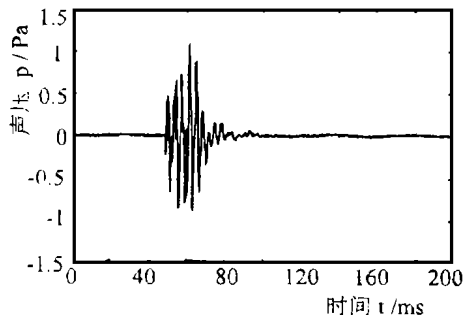
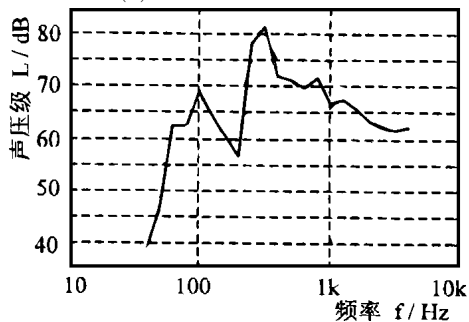


图 3 可调周期通/断多谐数字式振荡器电路



(a) 脉冲声的时间历程



(b) 脉冲声的 1/3 倍频程谱

图 4 脉冲声信号的特性

用计数器 CD4020 将定时器输出分频计数, 灵活调节通/断周期, 以满足实际使用的要求。R_{on}回路中串联的 10kΩ 变阻器, 可调节 R_{on}和 C₂的时间常数, 改变脉冲的宽度。脉冲的周期则由 R_{off}和 C₁的时间常数来决定。

脉冲信号经功率放大后驱动扬声器, 扬声器发出脉冲声的时域和频域特征见图 4: 脉冲声持续约 20ms, 信号的中高频段成份比较均匀, 中心频率声压级大都在 60dB 以上, 声信号在 400Hz 左右有一最大声压级约 82dB, 虽然在 200Hz 左右有一处凹陷, 但在实验所需的频率范围内, 即 100Hz 以上频段, 各 1/3 倍频程中心频率的声压级之差不到 30dB, 而声学测量仪器的动态范围通常都在 60dB 以上; 脉冲周期约 10s, 每个脉冲在时域、频域都十分一致, 表明脉

冲的重复性较好。故该脉冲声信号可满足吸声系数测量的要求。

3 多传声器脉冲响应法的应用

应用本文方法测定一非平整表面吸声构件不同入射方向的吸声系数。

3.1 被测声屏障的特点

被测试件是一种自行研制的新型交通声屏障 (SJT-I 型), 该型声屏障具有防雨尘、吸声频带宽等多项优点。其横截面形状如图 5 所示, 其吸声侧的表面为锯齿形, 吸声的穿孔板位于不吸声的斜面板的下方。显然, 由于不符合镜向反射条件, 加之散射效应的



图 5 声屏障示意图

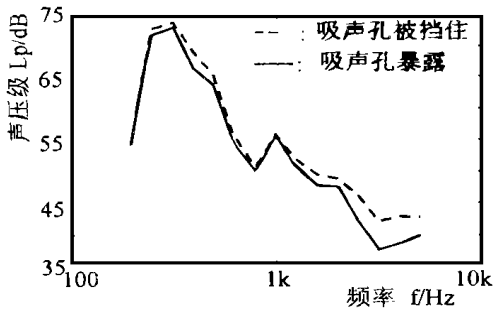
存在, 用单个传声器的普通脉冲响应法是无法测量该型声屏障对不同方向入射声的吸声系数的。

3.2 非平整表面声屏障的斜入射吸声系数测量实验

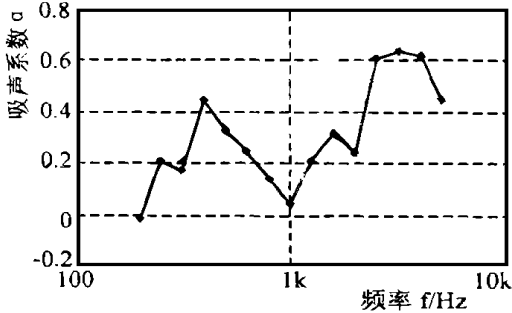
用图 2 所示的实验装置, 将被测声屏障水平安装在半消声室的地面上, 声源扬声器对准穿孔板侧, 障板距试件 250mm, 用布置成一列的 6 个传声器测量脉冲声信号, 传声器的间距为 120mm, 传声器阵列的位置随声源入射角调整, 使主反射线 (图 3 中的中心线) 穿过传声器列的中央。被测声屏障表面是吸声 (穿孔板) - 不吸声 (斜板) 相间隔的, 每个单元的高度约 250 mm, 因此, 宽度为 600 mm 的传声器阵足以反映被测对象的平均吸声性能。每次测量都取 5 个脉冲的平均数据, 以消除随机干扰的影响。为了获得式 (1) 中的对比信号 p_r , 还需在测量声屏障的反射声信号后, 测量反射与散射条件相同的不吸声面的反射声。因制作与声屏障外形相同的不吸声构件成本很高, 故用高面密度的条形挡板盖住穿孔面来模拟不吸声的情况。

3.3 测量结果讨论

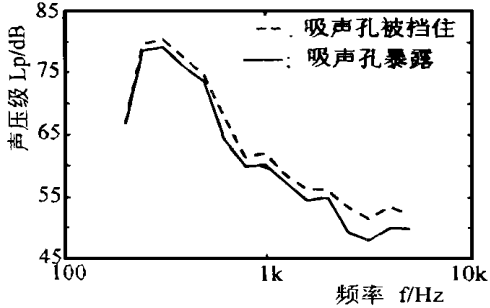
分别用单传声器法和本文提出的多传声器脉冲响应法测量了 SJT-I 型交通声屏障的吸声系数, 入射角的变化范围为 23°-75°。各入射角的吸声系数虽然不同, 但频谱特点基本相似, 图 6 给出了入射角为 41°时的测量结果。比较图 6(b) 和图 6(d) 可以看到, 单传声器脉冲响应法测得的吸声系数随频率跳动比较严重, 在 200Hz 处甚至出现负值, 这不符合被测对象的实际情况, 也与混响室无规入射法的分析



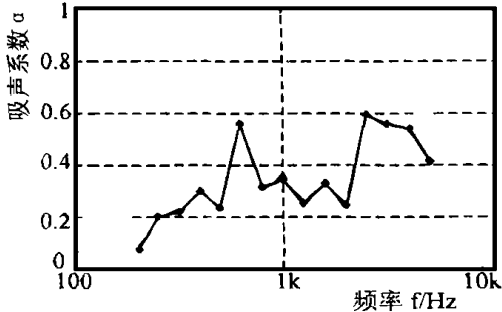
(a) 单传声器的 1/3 倍频程声压级



(b) 单传声器法测得的吸声系数



(c) 6 传声器的 1/3 倍频程声压级



(d) 多传声器法测得的吸声系数

图 6 单传声器与多传声器脉冲响应测量吸声系数方法的比较

结果相去甚远;多传声器脉冲响应法测得的吸声系数随频率的跳动则小得多,其变化规律也与混响室内的测量结果基本一致。更进一步,比较图 6(a)和声学技术

图 6(c) 可以看到,单传声器法测得的吸声孔暴露与否的 1/3 倍频程声压级在某些频率十分接近,这是由于散射和声屏障斜面(不吸声部分)反射的指向性引起的结果(参见图 1),由于这种指向性在一个较大空间范围平均之后就比较均匀了,因而采用多传声器声能之和作为吸声系数的计算依据可以更准确地反映被测对象的部分面积(本例为穿孔板和斜板相间的单元)的平均吸声系数。

当然,与单传声器法一样,多传声器脉冲响应法也是基于声线假设的实验方法,所以低频段反射系数的测量结果不如高频段理想。

多传声器脉冲响应的测量结果可作为评价该声屏障性能的依据之一,也可作为边界元或有限元法分析声场的边界条件,为解析车辆与声屏障之间区域的声近场、预测声屏障的降噪效果提供条件。多传声器脉冲响应法测得的吸声系数还表明了 SJT-1 型声屏障具有较好的吸声性能。

与单传声器脉冲响应法一样,实验时要求试件、障板、声源和测点距离均须远大于脉冲声的波长,故较适合中高频吸声系数分析,若用以分析低频段吸声性能,则在实际应用时难度较大。

4 结 论

本文提出的多传声器脉冲响应吸声系数测量方法原理清晰,实施简便,可用于测量各种形状界面的吸声性能,特别适合研究不平整试件的吸声性能,为实验分析非平整表面的吸声性能提供了一种简便易行的技术。

参考文献:

- [1] Ingard U, Bolt R H. A free field method of measuring the absorption coefficient of acoustic materials[J]. J. Acoust. Soc. Am, 1951, 23(5): 509-516.
- [2] Allard J F, Bourd R & Bruneau A M. The measurement of acoustic impedance at oblique incidence with two microphones [J]. Journal of Sound and Vibration, 1985, 101(1): 130-132.
- [3] Minten M, Cops A & Lauriks W. Absorption characteristics of an acoustic material at oblique incidence measured with the two-microphone technique[J]. Journal of Sound and Vibration, 1987, 120(5): 499-510.
- [4] Tamura M., Allard J F & Lafarge D. Spatial Fourier-transform method for measuring reflection coefficients at oblique incidence: II. Experimental results[J]. J. Acoust. Soc. Am, 1995, 97(4): 2255-2262.
- [5] Cremer L, Moller H 著. 王季卿等译. 室内声学设计原理及其应用[M]. 上海:同济大学出版社,1995 年 10 月.