

文章编号:1006-1355(2018)03-0190-03+209

## 声管宽带脉冲二次透射法隔声测试技术

刘 哲, 侯 宏, 卫政宇, 张萌飞, 柴志光

(西北工业大学 航海学院, 西安 710072)

**摘 要:**在声管中时域分离宽带脉冲法的基础上,提出利用宽带脉冲二次透射波测试样品隔声性能参数的方法。在声管中生成短时宽带脉冲信号,通过对传声器位置和样品位置的设计,用一个传声器只需一次测试便可采集到时域上分离的一次入射波、一次反射波、二次透射波,进而计算样品的声压透射系数、隔声量。在空气声管中对某型样品进行测试,结果显示二次透射方法与时域分离宽带脉冲法吻合良好,验证了此方法的有效性。此方法只需一个传声器测试一次,简单易行,重复性好,可以用作一种有效的隔声测试方法。

**关键词:**声学;二次透射法;宽带脉冲;隔声测试

中图分类号:TB95

文献标志码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2018.03.037

## Sound Insulation Measurement Technique in Sound Tubes with Broadband Pulse Secondary Transmission Method

LIU Zhe, HOU Hong, WEI Zhengyu, ZHANG Mengfei, QI Zhiguang

(College of Marine, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract :** Based on time-domain pulse-separation method in standing wave tubes, a method using broadband pulse secondary transmission wave is proposed for sound insulation measurement. Two kinds of broadband pulses are generated. By a proper design of the locations of the microphone and the sample, the incidence wave, reflection wave and the secondary transmission wave can be acquired easily with only one measurement and only one microphone. Then, the acoustic parameters of the sample can be calculated. An experiment is completed to verify the proposed method. Measurement result of this method is compared with that of the time-domain pulse-separation method, a good agreement between the two results is observed. This method is easy and simple and has good repetition. It can be used as an effective method for sound insulation measurement.

**Keywords :** acoustics; secondary transmission method; broadband pulse; sound insulation measurement

随着现代社会的发展,人们对于声环境质量越来越重视,这对产品的声学性能提出了很高的要求,因此噪声与振动控制对于产品设计、工程应用有着重要意义。噪声与振动控制的重要手段之一是使用声学材料,其声学参数的宽带测试受到了广泛的关注。

声学材料的隔声性能主要以隔声量或透射系数

衡量,其测试由相关测试标准进行了规定。常用的声学材料隔声性能声管测量方法包括空气声管中的传递矩阵法等<sup>[1]</sup>,及水声管中的脉冲管法等<sup>[2]</sup>。文献中围绕着隔声性能测试也开展了许多研究,如改进的驻波分解法<sup>[3]</sup>、基于上端管末端声阻抗的测试方法<sup>[4]</sup>,孙亮等提出了时域分离宽带脉冲法<sup>[5]</sup>,其原理是在声管中生成持续时间短、频带范围宽的脉冲信号,用此脉冲信号进行测试,分别在样品前后用一个传声器采集到时域中分离的入射波、反射波、透射波,进而进行一系列计算得到样品的隔声性能参数。本文在此方法的基础上研究了利用二次透射波的宽带脉冲法,提出了基于宽带脉冲二次透射波计算隔声参数的方法(以下简称为二次透射法),可以有效地在较短的声管中进行测试,为脉冲声管的设计和声管中的隔声测试提出了一种新的思路。

收稿日期:2017-10-17

基金项目:西北工业大学研究生创新创业种子基金资助项目(Z2017084)

作者简介:刘哲(1995-),男,硕士研究生,河南省商丘市人,主要研究方向为噪声控制、声学测试。

通信作者:侯宏(1966-),男,教授,博士生导师。

E-mail: houhong@nwpu.edu.cn

## 1 宽带脉冲二次透射法

时域分离宽带脉冲法基本原理如下:基于维纳滤波原理,可以在声管内部产生时域波形规整、频带宽、重复性好的脉冲声<sup>[6]</sup>,应用此脉冲声信号进行隔声测量。样品置于脉冲声管中央,在样品前用一个传声器采集时域上分离的入射波与反射波,样品后用一个传声器采集透射波,进而计算复反射系数、透射系数、隔声量。

二次透射法是在宽带脉冲法基础上的改进方法,其原理是将样品材料置于脉冲声管中,将标准反射体置于声管末端,根据管长和脉冲声长度设计样品安装位置及传声器位置,在样品前用一个传声器采集时域上分离的入射波、反射波、二次透射波,从而计算待测样品的隔声性能参数。

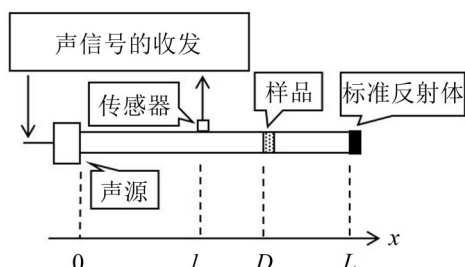


图1 测试系统

传声器位置满足一定条件:一次入射波、一次反射波、二次透射波、二次入射波时域上波形不叠加。声管各项参数如图1,传声器至声源的距离为 $l$ ,样品前表面至声源距离为 $D$ ,脉冲声管管长为 $L$ 。设在脉冲管中生成的宽带脉冲时长为 $t$ ,空气中声速为 $c$ ,则在传声器处采集到的信号中,一次入射波的时间区间为 $(l/c, l/c+t)$ ,一次反射波的时间区间为 $((2D-l)/c, (2D-l)/c+t)$ ,二次透射波的时间区间为 $((2L-l)/c, (2L-l)/c+t)$ ,由一次反射波在声源处反射引起的二次入射波的时间区间为 $((2D+l)/c, (2D+l)/c+t)$ ,故应有

$$\begin{cases} l/c+t < (2D-l)/c \\ (2D-l)/c+t < (2L-l)/c \\ (2L-l)/c+t < (2D+l)/c \end{cases} \quad (1)$$

化简可得

$$\begin{cases} D < L - ct/2 \\ D > l + ct/2 \\ D > L - l + ct/2 \end{cases} \quad (2)$$

可见只要设计样品安装位置 $D$ 以及传声器位置 $l$ 满足式(2),便可用一次测试采集到在时域上分离的入射波 $A$ 、反射波 $B$ 、二次透射波 $C$ ,进而计算样品材料的隔声性能参数。声压透射系数

$$T_p = (|C|/|A|)^{1/2} \quad (3)$$

隔声量

$$TL = 10 \lg \left( \frac{|A|}{|C|} \right) \quad (4)$$

## 2 宽带脉冲声的生成

基于维纳滤波原理可以在声管中生成波形可控、稳定性高的脉冲声,其过程为:首先用某一宽带信号激励扬声器,测量传声器处声压作为响应信号,设激励和响应信号的傅立叶变换分别为 $H_e(\omega)$ 和 $H_r(\omega)$ ,则可由下式解算声源系统的频率响应函数

$$H(\omega) = \frac{H_r(\omega)}{H_e(\omega)} \quad (5)$$

之后根据需要设计的脉冲声(设其幅度谱为 $H_y(\omega)$ )和解算出的频率响应函数 $H(\omega)$ ,由下式计算驱动信号的频谱

$$H_x(\omega) = \frac{H_y(\omega)}{H(\omega)} \quad (6)$$

对 $H_x(\omega)$ 进行反傅立叶变换后便得到系统的驱动信号。

在脉冲声管中用以下两种宽带脉冲信号(零相位信号与巴特沃斯信号)作为激励信号,通过上述步骤获得相应的驱动信号。零相位信号的中心频率为3.2 kHz,频带上限为6.4 kHz,巴特沃斯信号的截止频率为7 kHz,两种信号的时域与频域波形分别如图2、图3。

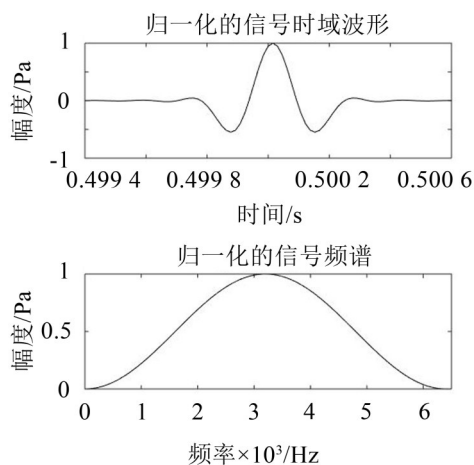


图2 生成的零相位信号时域与频域图

## 3 测试结果及分析

为了验证二次透射法在隔声测试中的有效性,在脉冲声管中用上节生成的两种宽带脉冲信号(零相位信号与巴特沃斯信号)的驱动信号作为激励信号,对某型海绵样品进行了测试。测试采用的脉冲声管长1.52 m,截止频率为7.1 kHz,传声器距声源0.79 m,样品位置距声源1.10 m,满足式(2)。

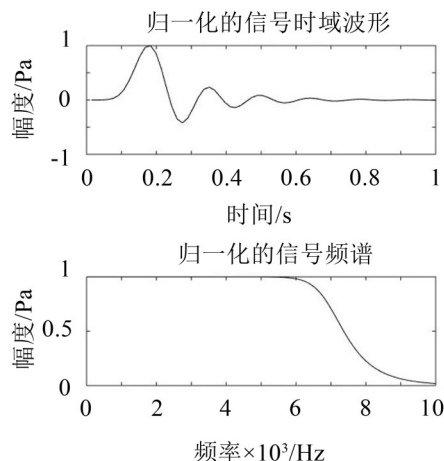


图3 生成的巴特沃斯信号时域与频域图

数据处理时根据声管长度、传声器位置、样品安装位置确定信号截取的点数,将入射波、二次透射波截取如图4。

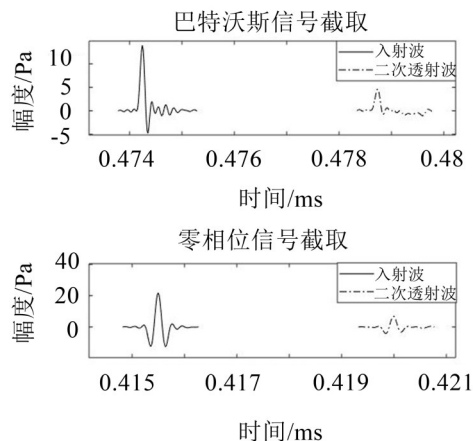
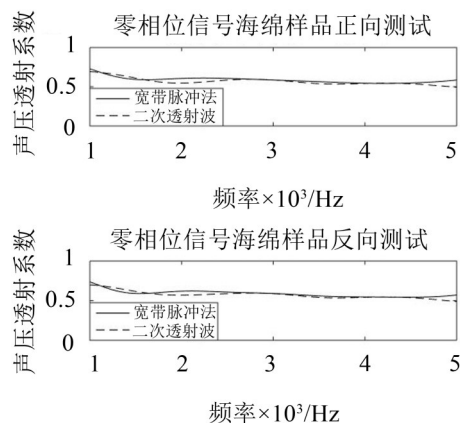


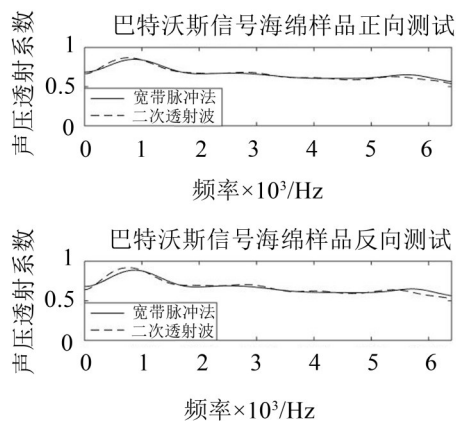
图4 测试信号波形截取

从图4可见,生成的两种宽带脉冲信号波形规整,时长约1 ms,满足测试需求。

将截取信号做傅立叶变换,根据式(3)进行声压



(a) 零相位信号激励



(b) 巴特沃斯信号激励

图5 测试结果对比

透射系数计算。为了验证二次透射法的有效性,还进行了时域分离宽带脉冲法测试,其结果对比如图5。

虽然本次测试的样品是匀质海绵,但由于样品是手工加工而成,其边缘加工精度会引起一定程度的两个方向透射性能的差异,考虑到这一影响,对样品进行了两个安装方向下的测试。

图5显示二次透射法和宽带脉冲法结果吻合良好,待测海绵样品的两种安装方式(正反向)对测试结果几乎没有影响。二次透射法是1种简单有效的隔声测试方法。

由于零相位信号的频谱能量集中在中心频率3.2 kHz附近,因而用零相位信号作激励信号时1 kHz以下和4.5 kHz以上频段的信号信噪比较低,测试结果误差较大;而巴特沃斯信号在截止频率以下的频段能量分布均匀,可以较精确地得到整个测试频段的结果。本次测试的主要误差来源是声管末端的硬界面,因为其不能达到“绝对硬”的边界条件,故而二次透射波会受到一定影响,在测试结果中就会产生一定的误差。

## 4 结语

本文提出了基于宽带脉冲二次透射波的隔声测试方法,这种测试方法只需要1个传声器进行一次测试,相较于需要1个传声器进行两次测试的时域分离宽带脉冲法大幅提升了测试效率。验证实验结果和宽带脉冲法结果吻合良好,是1种简单有效的测试方法。值得一提的是在待测样品隔声量很大时,二次透射波的振幅可能会变得很小,从而引起较大的测试误差,因此在使用二次透射法时要注意测试对象的隔声量不宜过大。