

不同声强宽带噪声激励下结构参数对穿孔板消声器吸声特性影响的实验研究

张国军^{1†} 熊继军¹ 李晓东²

(1 中北大学仪器科学与动态测试教育部重点实验室 太原 030051)

(2 中国科学院声学研究所 北京 100190)

摘要 高声压级激励下,由于非线性效应的存在,穿孔板消声器的吸声特性将发生改变,而改变量的大小与穿孔板的结构参数(穿孔率,孔径,板厚)密切相关。本文设计搭建了实验平台来研究结构参数的变化对穿孔板消声器的吸声特性的影响。根据实验结果发现:随着声压级的升高,由于穿孔板结构的非线性加剧,其声阻抗将发生变化,导致穿孔板消声器的吸收峰值降低,但吸收频带却拓宽了;在穿孔率一定的情况下,孔径越小的穿孔板消声器更适合低声压级环境工作;在孔径一定的情况下,穿孔率越低的穿孔板消声器也更适合低声压级环境工作。

关键词 穿孔板,消声器,非线性,传递损失

An experimental investigation of sound absorption characteristics of a perforated plate muffler for different configuration parameters under excitation of broad-band noise of various sound intensity

ZHANG Guo-Jun¹ XIONG Ji-Jun¹ LI Xiao-Dong²

(1 North University Of China, The Key Laboratory of the State Education Ministry on Instrumentation Science & Dynamic Measurement, Taiyuan 030051)

(2 Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract With high sound pressure level excitation, the sound absorption characteristics of perforated plate muffler will change, due to the exciting nonlinearity, while the amount of sound absorption has a close relation to the perforated plate construction parameters (porosity, diameter of hole, thickness of the perforated plate). In this paper, an experimental platform is established to study the effects of different construction parameters upon the sound absorption characteristics of perforated plate muffler. According to the experimental results, along with increase of the sound pressure level, nonlinearity of the perforated plate structure

2007-06-04 收稿; 2008-03-31 定稿

作者简介:张国军(1977-),男,太原市人,讲师,研究方向:噪声控制,矢量水听器。

熊继军(1971-),男,教授,博士,博士生导师。李晓东(1966-),男,研究员。

† 通信联系人 E-mail: zhangguojun1977@nuc.edu.cn

grows in intensity and its acoustic impedance changes. It decreases the value of absorption peak, while widens the absorption band. For a perforated plate muffler, if the porosity is not changed, the smaller the hole diameter, the more suitable for the lower sound pressure environment; if the hole diameter is not changed, the smaller the porosity, again the more suitable for the lower sound pressure environment.

Key words Perforated plate, Muffler, Nonlinearity, Transmission loss

1 引言

自上世纪40年代以来,有关于穿孔板的理论和应用研究一直吸引着科研人员的极大兴趣,究其原因在于构造简单的穿孔板结构有着重大的工程应用价值,可以说穿孔板结构的应用从传统的建筑声学,一直扩展到现在的工业降噪,对抑制振荡燃烧,消除声疲劳和管道消声等各个领域^[1]起着重要作用。

由 Melling^[2], Chang^[3], 马大猷^[4], 杜功煊^[5]等人的工作知道,穿孔板结构参数对穿孔板的非线性声阻抗影响非常大,特别是穿孔率,孔径和穿孔板的厚度三个参量。既然声阻抗发生了变化,必将影响到穿孔板结构的吸声特性。

前面提到的研究工作都是基于单频声波激励下的结果,而关于宽带噪声环境下穿孔板结构的非线性研究非常少;又由 Guojun Zhang^[6]等人的工作知,由于穿孔板的非线性效应,频率之间会相互影响,因而以上文献的结论不能简单推广到宽带噪声激励的情形。

本文的工作就是利用穿孔板结构做成一个消声器,通过实验来研究不同声强宽带噪声激励下结构参数的变化对穿孔板消声器的吸声性能的影响。

2 实验平台的搭建

2.1 测试方法

对于消声器的吸声性能,通常采用传递损失来描述,本文也将通过测量传递损失来研究穿孔板消声器的吸声性能。假定一维声波在管道中传播,并且吸声端的吸声效果非常好,

可以忽略掉吸声端的反射声波。根据双传声器法^[7]:

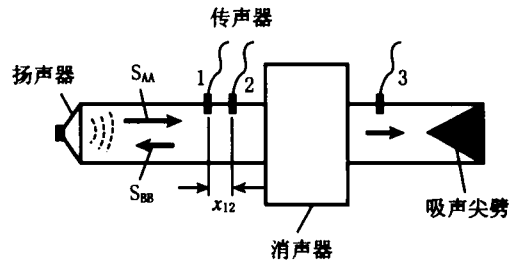


图1 传递损失测量方法示意图

$$S_{AA} = \frac{S_{11} + S_{22} - 2C_{12}\cos kx_{12} + 2Q_{12}\sin kx_{12}}{4\sin^2 kx_{12}}$$

其中 S_{11} , S_{22} 分别为传声器1, 传声器2的自谱。 C_{12} , Q_{12} 为传声器1与传声器2之间的互谱的实部, 虚部。从而可以得到传递损失为:

$$TL = 201 \log \frac{p_i}{p_t} + 101 \log \frac{S_i}{S_0}$$

其中 $p_i = \sqrt{S_{AA}}$, p_t 为传声器3测得的透射声压值, S_i , S_0 分别为 Muffler 的进出口面积, 在本实验中 S_i , S_0 相等。

2.2 实验平台的搭建

实验装置如图2, 图3所示, 管道为 $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 250\text{cm}$ 的矩形方管, 壁厚 1.5cm , 材料为有机玻璃。穿孔板消声器为片状抗性消声器如图2, 其中长, 宽, 腔深分别为 4cm , 25cm , 3.5cm 。穿孔板的宽, 长分别为 4cm , 25cm , 板厚可变, 材料为软铝。隔板的数量为4。

实验过程中用到三个 $1/4$ 英寸 gras 传声器, 功率放大器的型号为 OBEY-DPA-500B, 数据采集系统为 B&K3560C 及软件 pulse 9.0, 声源为特制的高声强喇叭, 电功率 100w , 在该实验中总声压级能达到 150dB 以上。吸声尖劈

的材料为吸声海绵,长为75cm。

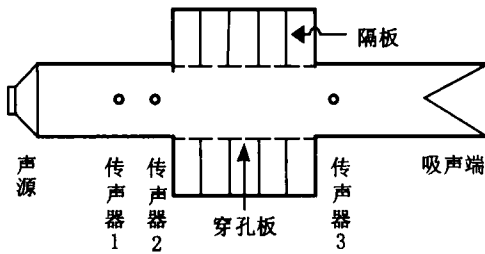


图2 穿孔板消声器的结构示意图

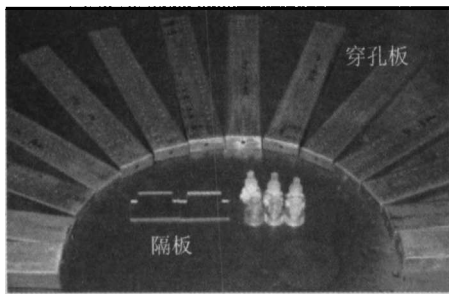


图3 穿孔板实物图

3 实验结果及分析

在该实验中,激励声源为宽带噪声,频率范围为75Hz~3kHz,频率间声压级起伏小于5dB。

3.1 穿孔率的大小对穿孔板消声器吸声特性的影响

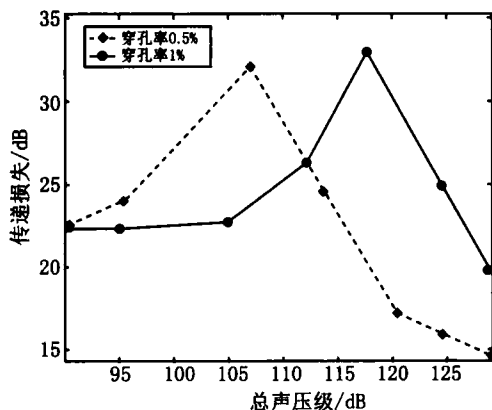


图4 不同穿孔率下,传递损失随声压级升高的变化情况(穿孔板的孔径1.2mm,板厚1.0mm)

从图4中可以看出,随着声压级的升高,消声器的传递损失先上升后下降,这是因为随着声压级的升高,穿孔板消声器的非线性效应更剧烈,其非线性声阻从小于空气的特性阻抗开始,逐渐升高,直至超过。由声学知识可知,穿孔板结构共振频率处的吸声系数只有在其声阻等于特性阻抗时才可达到最大值1,而对于结构尺寸固定的消声器,其消声量是与吸声系数成正比的。由图4还可以看出,穿孔率为0.5%的消声器其传递损失在106dB就可以达到最大值约为33dB,而穿孔率为1%的消声器,在较高声压级118dB才能够达到最大值约为34dB。这是因为在较低声压级下,穿孔率低的消声器,其非线性效应更加剧烈,其非线性声阻更大,即总的声阻更接近空气的特性阻抗,因而其最大消声量也更大。这也说明了穿孔率低的消声器更适合于较低声压级环境,穿孔率高的消声器更适合于较高声压级环境。

3.2 孔径的大小对穿孔板消声器吸声特性的影响

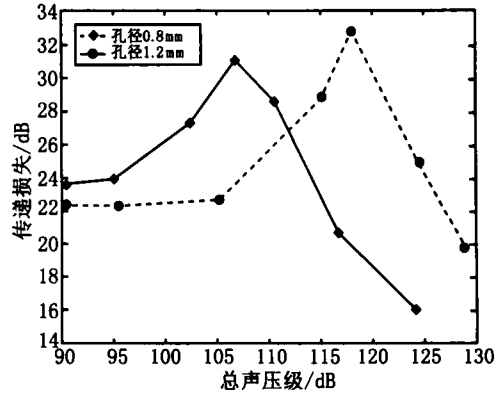
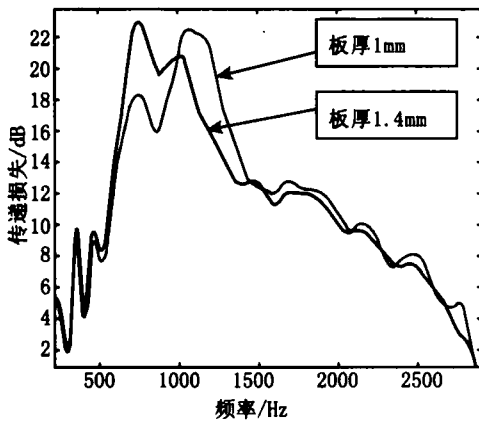


图5 不同孔径的穿孔板消声器传递的损失随声压级升高的变化情况(穿孔率1.0%,板厚1.0mm)

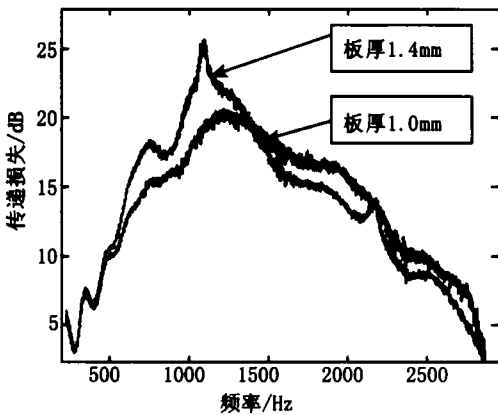
从图5可知,孔径小的穿孔板消声器在较低声压级106dB就可以达到传递损失最大值约为31dB,而孔径较大的穿孔板消声器在较高的声压级118dB才可以达到约为33dB。这是因为在较低声压级下,孔径小的消声器其非线性效应更加剧烈,其非线性声阻更大,即总的声阻更接近空气的特性阻抗,因而其最大消声量也更大。图5说明了孔径越小的穿孔板消声器更适合于较低声压级的环境,而孔径越大的穿孔

板消声器更适合于较高声压级的环境。

3.3 板厚对穿孔板消声器吸声频率特性的影响



(a) 低声压级下,不同板厚的穿孔板消声器传递损失随频率的变化情况(穿孔率1%,孔径1.2mm,总声压级105.1dB)



(b) 高声压级下,不同板厚的穿孔板消声器传递损失随频率的变化情况(穿孔率1%,孔径1.2mm,总声压级127.6dB)

图6 不同板厚的穿孔板消声器的吸声特性

图6(a)是总声压级为105dB时,传递损失随频率的变化情况,从中看出板厚度较大的穿孔板消声器的传递损失的峰值所在的频率要比板厚较小的低。这是因为,板厚较大的穿孔板结构单元的共振频率要低于板厚较小的穿孔板结构单元。

图6(b)是总声压级为128dB时,传递损失随频率的变化情况,从中看出随着声压级的升高,传递损失的吸收频带逐渐拓宽,这是因为随着声压级的升高,穿孔板非线性效应加剧,使得穿孔板的声阻抗发生改变,即声阻由线性声阻不断增加,增加量的大小正比于穿孔板小孔内的质

点振动速度的期望。随着质点振动速度的增加,整个频带内的声阻都将增加,而声抗率则随声压级的升高而减小,因为高声压级下,穿孔板小孔内空气柱的有效长度 L 相对于低声压级下变小,即声质量(ρL)变小,从而导致穿孔板消声器传递损失的最优峰值随着声压级的升高从低频向高频略微漂移。总之,既然穿孔板结构的声阻抗率发生变化,消声器的吸声系数也就随之发生变化,从而传递损失也就发生了变化。

4 结论

本文通过实验研究了宽带噪声激励下结构参数对穿孔板消声器的吸声特性的影响,得出的结论是:在穿孔率一定的情况下,孔径越小的穿孔板消声器更适合在低声压级环境工作,反之,则更适合在高声压级环境工作;在孔径一定的情况下,穿孔率越低的穿孔板消声器更适合在低声压级环境工作,反之,则更适合在高声压级环境工作。穿孔率,孔径一定的情况下,板厚越小的穿孔板消声器更适合在高频下工作,反之,更适合在低频下工作。高声压级下,穿孔板非线性效应加剧,使得穿孔板的声阻抗率发生改变,从而使得穿孔板消声器的吸收频带逐渐拓宽。该结论可为工程应用提供一定的理论指导。

参 考 文 献

- [1] 景晓东. 穿孔板波涡相互作用的理论和实验研究. 北京: 北京航空航天大学, 博士学位论文, 1999.
- [2] T. H. Melling. The acoustic impedance of perforates at medium and high sound pressure levels. *Journal of Sound and Vibration*, 1973, 29(1): 1-65.
- [3] J. Y. Chung, D. A. Blaser. Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I. Theory. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1980, 68(3): 907-913.
- [4] 马大猷. 高声强下的微穿孔板. *声学学报*, 1996, 21(1): 10-14.
- [5] 杜功焕, 龚秀芬. 高声压级下穿孔结构非线性声学特性的研究. *声学学报*, 1984, 9(5): 326-332.
- [6] Guojun zhang, Jijun Xiong, Xiaodong Li. An investigation of the acoustic nonlinearity of a perforated plate construction under broad-band noise excitation. *Inter-noise2006*, Hawaii.
- [7] Seybert. A. F. Two-sensor Methods for the Measurement of Sound Intensity and Acoustic Properties in Ducts. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1988, 83: 2233-2239.