文章编号：1006-1355(2014)02-0177-04

某种多孔陶瓷的消声性能试验

杨碧君，潘国培，贺 华，丁 炜，周相荣

（上海船舶设备研究所，上海 200031）

摘 要：调研了多孔陶瓷材料在声学领域的应用，阐述了其作为吸声材料、隔声材料及消声器使用时的声学原理。基于多孔陶瓷作为消声器使用的相关研究较少，为确定影响多孔陶瓷消声性能的主要因素，在两种试验工况下对不同规格的多孔陶瓷管进行排气试验。孔隙率是表征多孔陶瓷的基本参量，它与多项物理性能存在紧密联系，为排除它的影响，选择40 %孔隙率的多孔陶瓷进行试验，结果表明壁厚越厚，消声效果越好，孔径为20 μ的多孔陶瓷管消声效果最佳。随着温度的升高，多孔陶瓷管的消声频谱特性曲线向高频移动。

关键词：声学；多孔陶瓷；实验；降噪；消声性能

中图分类号：TU112.5 **文献标识码**：A DOI编码：10.3969/j.issn.1006-1335.2014.02.040

Anechoic Performance Analysis of Porous Ceramics

YANG Bi-jun, PAN Guo-pei, HE Hua, DING Wei, ZHOU Xiang-rong

(Shanghai Marine Equipment Research Institute, Shanghai 200031, China)

Abstract : Application of porous ceramics to acoustics area is summarized. Acoustics theory of the porous ceramics is expatiated when they are used as sound absorption material, sound insulation material and in mufflers. However, the researches of application of porous ceramics to mufflers are very few. In order to determine the major factors affecting anechoic properties of the porous ceramics, exhaust experiments on different porous ceramics are carried out in two different conditions. Porosity is a basic parameter of the porous ceramics related to the physical performance. The porosity of the porous ceramic is chosen to be a 40 % constant in the experiments to eliminate the porosity effect. The results show that the thicker the porous ceramic is, the better the anechoic property is. And anechoic property of the porous ceramic with 20 μ aperture is the best. With the temperature rising, the anechoic spectrum curve of the porous ceramic moves towards the high frequency direction.

Key words : acoustics ; porous ceramic ; experiment ; noise reduction ; anechoic property

多孔陶瓷是一种经高温烧成，体内具有大量彼此相通或闭合气孔的陶瓷材料，就微孔结构形式可分为闭气孔结构和开口气孔结构[1]。

多孔陶瓷材料具有相对密度小、比表面积大、热导率低、比强度高及吸附性能好等特点[2]，对液体和气体介质有选择的透过性，能量吸收或阻尼特性，加之陶瓷材料特有的耐高温、耐腐蚀、化学稳定性和结构尺寸稳定性，使多孔陶瓷这一绿色材料可以用于气体和液体中过滤、净化分离、化工催化载体，它是吸声减震材料、高级保温材料、生物植入材料、特种墙体材料和传感器材料，因此在多方面得到广泛的应用[3]。

本文就多孔陶瓷材料在声学领域的应用作简要介绍，并对孔源率40 %多孔陶瓷进行实验。讨论其作为消声器时的主要影响因素。

1 基础理论

一般多孔材料的声学模型有两类，一类为刚性骨架模型[4—6]，骨架的弹性模量比空气大若干个数量级，在受到扰动时，骨架的响应完全可以忽略；另一类是弹性体骨架模型[7]，声波在多孔材料中传播时，骨架发生振动，产生声振耦合。根据多孔陶瓷材料的制造工艺，采用刚性骨架模型进行声学分析，有经

收稿日期：2013-10-07

作者简介：杨碧君（1986- ），女，浙江玉环人，硕士，目前从事振动与噪声控制。

E-mail: yangbijun704@126.com

验公式[4]、宏观理论[8]和微观理论[5]三种分析途径。Allard和Champous[9]对宏观理论和微观理论进行统一，将流阻表达式进行了简化，得到了刚性骨架材料层的经验关系模型，弥补了Delany-Bazley[4]模型在低频计算不准确的缺陷。

2 多孔陶瓷在声学领域中的应用

2.1 吸声材料

作为吸声材料，影响其吸声特性的主要因素是材料自身的空气流阻孔隙率和结构因子。目前较为常用的是采用Zwikker-Kosten模型[5]和Stinson模型[6]来描述空气和孔壁粘性效应和热交互作用。Takahara[10]研究了微粒型多孔陶瓷材料的吸声特性，其主要影响参数为微粒平均直径、孔隙率、材料厚度和背后空腔厚度。

研究表明[11]，单独的气泡和密闭间隙不起吸声作用，只有具有连通气孔、60 %以上的孔隙率、孔径为20～150 μm以及机械强度较高的多孔陶瓷才能作为吸声材料。

2.2 隔声材料

与吸声材料不同，具有闭气孔结构的多孔陶瓷可用作隔声材料，声波传播到材料表面时，绝大部分被反射，透射的声波大大减小，从而起到隔声作用。多孔陶瓷所具有隔声性能以及优良的耐火性[12]和耐候性[13]，使它越来越被广泛地应用于变压器、影剧院的隔声，以及高层建筑等防火要求较高的场合。

2.3 消声器

近年来，具有刚性骨架结构的多孔金属材料被应用于消声内衬[14]，并广泛开展了高温、高声压级下多孔材料特性的研究，获得硬壁背衬下材料表面声阻抗的计算模型[15]，而作为阻塞型消声器的研究却很少。

多孔陶瓷消声器最早出现于80年代，用来控制排气喷流噪声，已应用于铸锻车间以压缩空气为动力的射芯机、压力机、分箱机和捅箱机等排气口上，取得了30 dB(A)以上的消声效果[16]。多孔陶瓷消声器还用于降低蒸汽加热管道产生的宽频带噪声，消声量达26 dB(A)[17]。

3 消声性能实验

为确定影响多孔陶瓷声学性能的因素，将不同规格的多孔陶瓷管通过夹具安装在排气口，实验条件见表1 。

测试时，将传感器布置在距陶瓷表面1 m位置处，记录安装多孔陶瓷管前后的排气噪声。图1为多孔陶瓷管的试验夹具照片。

表1 多孔陶瓷试验条件

工况	排气压力	排气温度	备注
T 1	0.8 MPa	5 ℃～20 ℃	室温
T 2	0.6 MPa	169 ℃	饱和蒸汽



图1 多孔陶瓷管的试验夹具

4 消声性能影响因素分析

4.1 孔隙率

孔隙是表征多孔陶瓷的基本参量。图2给出了孔隙率与一些物理性能之间的关系。多孔陶瓷材料作为声学产品使用时，除了满足声学性能要求外，其强度也是关键考虑因素。随着孔隙率增加，材料的断裂韧性逐渐下降，其失效过程表现出一定的塑性，孔隙率越高，失效强度越低，塑性失效越明显[18]。

汪永清等[11]研究了以木炭屑和锯末为造孔剂的两种吸声陶瓷孔隙率在15 %～45 %之间的吸声效果，结果发现孔隙率越高，吸声效果越好。

基于此，在本文的研究中，所选用的多孔陶瓷孔隙率都为40 %，以排除孔隙率对声学性能的影响，同时满足试验过程中材料强度的要求。

4.2 壁 厚

从理论上来看，增加厚度可以增加多孔陶瓷的声阻抗，同时增加了气体在多孔陶瓷内经历的路程，最终导致消声量的增加。基于此，在T1工况下对壁厚为4 mm和6.6 mm的多孔陶瓷管进行消声量测试，结果如图3所示。无论是从频谱还是总的消声量上来看，壁厚为6.6 mm的多孔陶瓷的消声量略高于壁厚为4 mm的多孔陶瓷，但两者差异并不显著，这是因为试验所选用的两类多孔陶瓷管壁厚的差异不至引起消声效果的显著变化。

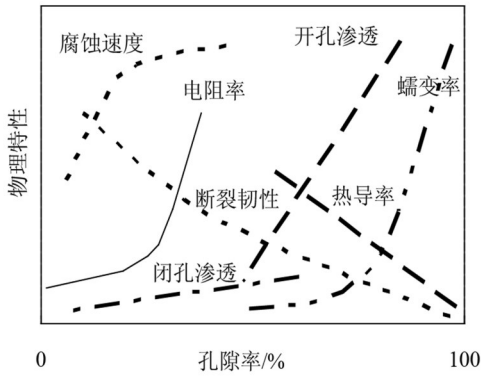


图 2 孔隙率与物理性能的关系

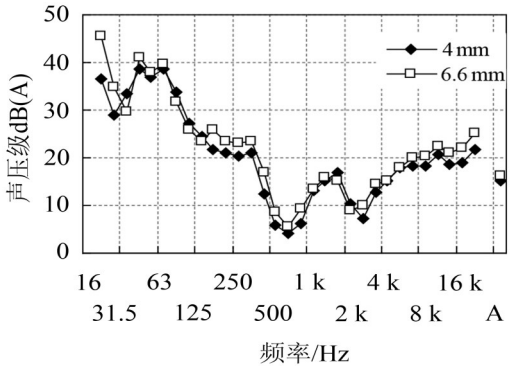


图 3 不同壁厚的多孔陶瓷管消声量

4.3 过滤精度(孔径)

在其它参量相同的情况下,选择孔径为5 μ和20 μ的相同材质多孔陶瓷、50 μ的碳化硅多孔陶瓷和30 μ的刚玉多孔陶瓷在T1工况下进行试验,结果如图4所示。在这几种规格下,20 μ多孔陶瓷管的消声效果最佳,其次为30 μ、50 μ、5 μ,从频谱上看,主要在125 Hz～2 kHz出现显著差别。出现这种结果的原因有以下两种:

(1)材质是影响消声量的重要因素,不同材质的多孔陶瓷,其孔隙组织结构不同,孔隙比较通畅的材料流阻较小;孔隙曲折度越高,内部通道越复杂的材料流阻大。

(2)在最佳消声效果的优化孔径。在孔隙率相同的情况下,孔径越大,流阻越小,反之孔径越小,流阻越大。这两个因素均与流阻存在直接关系。流阻是影响多孔陶瓷材料声学性能的一个重要宏观参数,其与温度和声压有关。对于一定厚度的材料,存在一个最佳流阻。因此,这几种规格的多孔陶瓷消声效果不随孔径的增加而呈现单一的变化趋势。

4.4 温 度

两种试验条件下测得的多孔陶瓷管消声性能显著不同(图5),在低频部分(250 Hz以下),因T 2工况下声源低频贡献较小,使得多孔陶瓷管低频消声

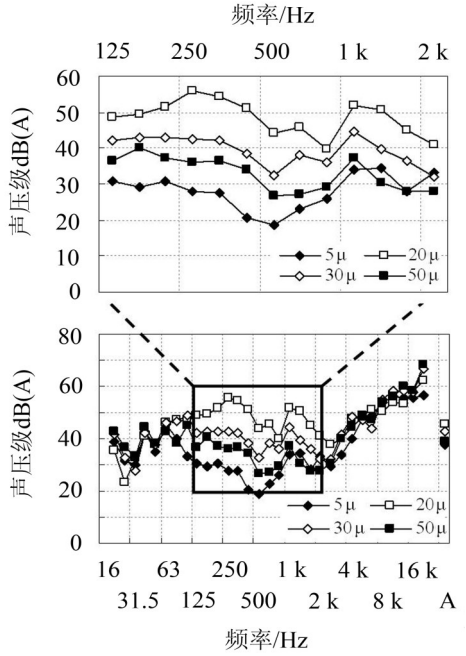


图 4 不同孔径的多孔陶瓷管消声量

效果表现不显著。室温环境下2 kHz附近出现多孔陶瓷管的消声谷值,而在高温环境下,该谷值向高频移动,根据消声频谱曲线,可以预计该谷值出现在20 kHz以上。相应地,1 kHz频率处的消声峰值也向高频移动,至2 kHz。温度的变化使得声速、流阻等物理量发生变化,对于一定波长来说,相应的频率提高,同时,流阻也随之增大,在多种因素共同作用下,使得多孔陶瓷管的消声频谱特性曲线发生变化,向高频移动。

这两种试验条件下,多孔陶瓷管的消声效果非常明显,接近40 dB(A),显著降低了排气口噪声。

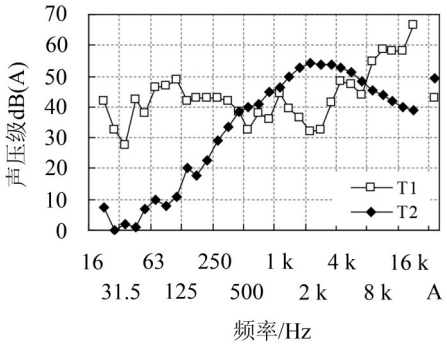


图 5 不同温度下多孔陶瓷管消声量

5 结 语

(1) 孔隙率是表征多孔陶瓷材料的基本参数,与多项物理量存在直接关系,并与强度成反比。为排除孔隙率对声学性能的影响,同时满足试验时强度的要求,选择孔隙率为40 %的多孔陶瓷进行其他参

数的比较分析；

(2) 实验了壁厚对消声量的影响。从理论上来讲，壁厚越厚，消声量越好，实验结果虽在一定程度上表现了这一趋势，但并不显著，这与所选的厚度差异有关；

(3) 实验所选用的几种过滤精度（孔径）的多孔陶瓷，以20 μ多孔陶瓷的消声效果最佳，这是因为材质的不同，或存在最优过滤精度（孔径）而引起的流阻差异导致的；

(4) 不同温度下，多孔陶瓷管的消声频谱特性曲线有显著差异，随温度升高向高频移动。两种试验条件下，总消声效果都接近40 dB(A)，能显著降低排气口噪声。

参考文献：

[1] 何 飞，赫晓东. 多孔陶瓷制备工艺及性能研究[J]. **宇航材料工艺**，2003 (5)：12-16.

[2] 王 慧，曾令可，张海文，等. 多孔陶瓷—绿色功能材料[J]. **中国陶瓷**，2002，38 (3)：6-9.

[3] 李方文，吴建锋，徐晓虹，等. 应用多孔陶瓷滤料治理环境污染[J]. **中国安全科学学报**，2006，16 (7)：112-117.

[4] Delany M E, Bazley E N. Acoustical properties of fibrous absorbent materials[J]. **Applied Acoustics**, 1970, 3 (2): 105-116.

[5] Zwikker C, Kosten C W. Sound absorbing materials[M]. New York: Elsevier, 1949.

[6] Stinson M R. The propagation of plane sound waves in narrow and wide circular tubes and generalization to uniform tubes of arbitrary cross- sectional shape[J]. **J. Acoust. Soc. Am.,** 1991, 89(2): 550-558.

[7] Biot M A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid- saturated porous solid. I. Low frequency range, II. Higher frequency range[J]. **J. Acoust. Soc. Am.**, 1956, 28: 168-191.

[8] Morse P M, Ingard K U. Theoretical acoustics[M]. USA: Princeton University Press, 1968.

[9] Allard J F, Champoux Y. New empirical equations for sound propagation in rigid frame fibrous materials[J]. **J. Acoust. Soc. Am**., 1992, 91(4): 3346-3353.

[10] Hidefusa Takahara. The sound absorption characteristics of particulate porous ceramic materials[J]. **Applied Acoustics**，1994,41(3):265-274.

[11] 汪永清，施 群，汪锦明，等. 多孔吸音陶瓷的制备[J]. **硅酸盐通报**，2010，29(3)：608-611.

[12] 石瑞琦译. 轻质陶瓷吸音板[J]. **中外技术情报**，1996，(1)：20.

[13] 周海燕. 新型声屏障材料泡沫陶瓷[J]. **环境保护科学**，2002，28(112)：42-44.

[14] Paun F, Gasser S, Leylekian L. Design of materials for noise reduction in aircraft engines[J]. **Aerospace Science and Technology**, 2003, 7(1):63-72.

[15] Umnova O, Attenborough K, Shin H, et al. Response of multiple rigid porous layers to high levels of continuous acoustic excitation[J]. **J. Acoust. Soc. Am**., 2004, 116(2): 703-712.

[16] 吕玉恒. 噪声控制与建筑声学设备和材料选用手册[M]. 北京：化学工业出版社，2011. 264-265.

[17] 张 倩，张德恩，郑保泉，等. 蒸汽加热用多孔陶瓷消声器的效果评价[J]. **环境工程**，1990，8(5)：57.

[18] 袁义云，宋迎东，孙志刚. 孔隙率对多孔陶瓷材料失效强度的影响[J]. **航空动力学报**，2008，23(9)：1623-1627.

(上接第172)

（4）模型结构上所安装的合页型SMA阻尼器在一定程度上能够发挥优良的消能能力，从而吸收掉一部分地震能量，使房屋的整体抗震性能增加。减震效果达到25 %～60 %，值得进一步深入研究和开发应用。

参考文献：

[1] 王社良. 形状记忆合金在结构控制中的应用[M]. 西安：陕西科学技术出版社，2000.

[2] Wang S L, Zhao X. Research on damp capacity of passive isolation device based on shape memory alloy[J]. **Proc. of the ISSEYE-8**, 2004, 469-473.

[3] 左晓宝，李爱群，倪立峰，陈庆福. 形状记忆合金在结构振动控制中的研究[J]. **噪声与振动控制**，2004，04：9-13.

[4] 沈聚敏，周锡元. 抗震工程学[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2000.

[5] 赵 祥，王社良，周福霖，黄襄云，赵西成. 基于SMA阻尼器的古塔模型结构振动台试验研究[J]. **振动与冲击**，2011，30（11）：219-223.

[6] 尚守平，周福霖. 结构抗震设计[M]. 北京：高等教育出版社，2010.

[7] Clough R W, Penzien J. Dynamics of Structures[M]. New York: McGraw-Hill Book Co. Inc., 1993.

[8] 王社良，于 洋，樊禹江，等. 粉煤灰和硅粉对再生混凝土力学性能影响的试验研究[J]. **混凝土**，2011，12：53-55.

[9] 王社良，张 博，赵 祥，杜园芳，樊禹江，等. 一种多元混杂再生纤维增强再生混凝土制备方法[P]. CN102584135A：2012，7. 18.

[10] 张波志，王社良，张 博，等. 再生混凝土基本力学性能试验研究[J]. **混凝土**，2011，07：4-6.

[11] 王新敏. ANSYS工程结构数值分析[M]. 北京：人民交通出版社，2007.