

小孔径通孔多孔铝合金的防风降噪性能

黄可, 王权, 何思渊, 王辉, 何德坪

(东南大学材料科学与工程学院 江苏省先进金属材料高技术研究重点实验室, 南京 210096)

摘要: 以降低语音系统气流噪声为目标, 制备小孔径($d0.1\sim 0.5$ mm)多孔铝合金, 采用自制设备研究多孔铝合金的厚度、孔径及气流速度等因素对气流噪声的影响。结果表明: 相对于孔的气流噪声, 多孔铝合金的气流噪声在低频段下降 18 dB, 降幅随频率增加而减小; 材料厚度越大、孔径越小、气流速度越大, 多孔铝合金的防风降噪性能越好。

关键词: 多孔铝合金; 多孔材料; 降噪; 气流噪声

中图分类号: TB 31; TB 535 **文献标识码:** A

Airflow noise attenuation capacity of porous Al alloy with small pore diameter

HUANG Ke, WANG Quan, HE Si-yuan, WANG Hui, HE De-ping

(Jiangsu Key Laboratory of Advanced Metallic Materials, School of Materials Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Porous Al alloys with small pore diameters were fabricated for the purpose of reducing airflow noise under the sound system. The effects of thickness, pore diameter of porous material and airflow velocity on the noise were investigated experimentally. The results show that the noise of the specimen reduces by 18 dB at lower frequency and the breadth reduces with increasing frequency comparing with the noise of the hole. The airflow noise attenuation capacity of the specimens increases with increasing thickness, decreasing pore diameter and increasing airflow velocity.

Key words: porous Al alloy; porous materials; noise attenuation; airflow noise

超轻通孔多孔金属不但具有优良的物理和力学性能^[1-3], 而且还具有轻质、高比强及优异的声学(吸声、消声)特性^[4-5], 在高技术领域有广泛的应用前景, 成为材料研究热点之一。

迄今为止, 多孔金属降噪性能研究集中于其作为吸声材料对于声波的吸收特性^[6-7]。程桂萍等^[6]研究表明, 多孔铝合金在空气和水中均具有良好的吸声性能。LU 等^[7]建立了多孔金属的空气声吸收模型, 研究了吸声系数与其孔径、通孔度和孔隙率的关系。多孔金属在消声方面的应用亦得到了关注^[8-9]。一般认为, 多孔金属应用于消声涉及其出流噪声的研究, 其作用是降

低总压并缩小流体出流面积。何枫等^[8]对于多孔材料出流流场的速度、湍流量、声场和压力分布的研究表明, 气流经过多孔材料的出流是由不同方向的普通射流和微射流的汇聚扩散组成, 然后逐渐发展为自由射流, 其出流湍流梯度和声压梯度分布都明显降低。小孔径多孔铝合金在语音系统等降低气流噪声的应用研究未见报道。

本文作者基于语音系统的防风降噪, 制备了小孔径($d0.1\sim 0.5$ mm)多孔铝合金, 研究了多孔铝合金的孔径、厚度及气流速度等参数对气流噪声的影响, 为该类超轻材料的应用提供理论依据。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2006CB601201)

收稿日期: 2008-12-16; **修订日期:** 2009-03-09

通信作者: 何德坪, 教授; 电话: 025-83794119; E-mail: huangkely@yahoo.cn

1 实验

1.1 实验材料

采用渗流法制备 ZL111(8.0%~10%Si, 1.3%~1.8% Cu, 0.4%~0.6%Mg, 0.1%~0.35%Mn, 余量为 Al)多孔铝合金^[10-11]。首先通过筛分获得小粒径填料颗粒, 放入模具中压实, 预热; 然后将铝合金熔体浇注于模具中, 铝合金熔体在压力驱动下渗入填料颗粒间隙; 凝固后, 形成铝合金骨架与颗粒的复合体; 除去填料颗粒即可得到多孔铝合金。经线切割获得防风降噪性能检测所需尺寸。

为研究试样厚度、孔径及气流速度等参数对多孔铝合金防风降噪性能的影响, 制备了多种结构的小孔径多孔铝合金试样, 主要参数如表 1 所列。

表 1 多孔铝合金的结构参数

Table 1 Parameters of porous Al alloys

Sample No.	Pore size/ mm	Porosity/ %	Thickness/ mm	Diameter/ mm
1	0.1	64.5	1	4
2	0.1	65.3	2	4
3	0.1	66.2	3	4
4	0.3	65.7	2	4
5	0.5	64.3	2	4

1.2 实验方法

实验时, 模拟了麦克风单体的工作环境, 将麦克风单体(型号为 6027A)放置于圆管轴线距前端 10 mm 处。首先采用中心圆孔 $d3$ mm 的面板, 以检测孔洞的气流噪声。检测多孔铝合金的气流噪声时, 为保证试样的流通面积与孔洞的流通面积相匹配, 采用中心孔洞 $d4$ mm 面板, 并填充多孔铝合金。

在背景噪声小于 20 dB 的消声室内, 启动风机, 采用丹麦 DANTEC 热线风速仪测量风速, 待风速稳定后, 采用 AP 音频分析仪记录气流噪声频谱曲线。测试装置示意图如图 1 所示。

2 结果与分析

2.1 孔与多孔铝合金的气流噪声比较

图 2 所示为孔与多孔铝合金在 3 m/s 风速时气流噪声的频谱曲线, 检测的频率范围为 10~10 000 Hz。

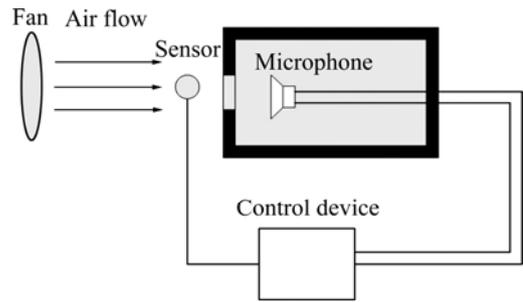


图 1 测量装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of measuring setup

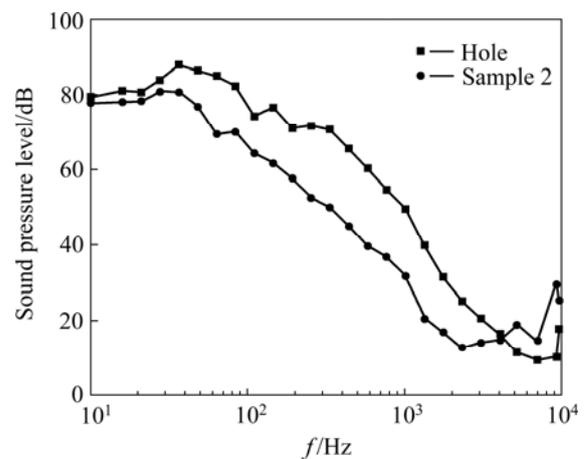


图 2 多孔铝合金与孔的噪声频谱对比

Fig.2 Comparison of noise spectrum between porous Al alloy and hole

由图 2 可见, 孔的气流噪声集中于低频段, 声压级随频率增大而逐渐减小; 多孔铝合金的气流噪声亦集中于低频段, 在 $f < 2\ 000$ Hz 的低频段, 噪声声压级随频率增加由 80 dB 降低至 20 dB; 当频率 $f > 2\ 000$ Hz 时, 声压级趋于一致。

对比图 2 中试样与孔的噪声频谱曲线可知, 试样的低频噪声显著下降, 降幅最高为 18 dB; 随频率增加, 降幅逐渐减小; 当频率大于 2 000 Hz 时, 试样与孔的高频气流噪声趋于一致。

2.2 材料厚度对气流噪声的影响

图 3 所示为不同厚度的孔径 0.1 mm 试样在 3 m/s 风速时的噪声频谱曲线, 检测的频率范围为 10~10 000 Hz。由图 3 可知, 不同厚度试样气流噪声频谱曲线变化趋势基本相同; 噪声集中于频率范围为 10~2 000 Hz 的低频段, 声压级随频率增大而减小; 当频率 $f > 2\ 000$ Hz 时, 声压级趋于一致。

对比不同厚度试样气流噪声频谱曲线可知, 在

气流速度、试样孔径及孔隙率相同时, 气流噪声随试样厚度的增加而降低; 当厚度从 1 mm 增加到 3 mm 时, 噪声下降 10 dB。

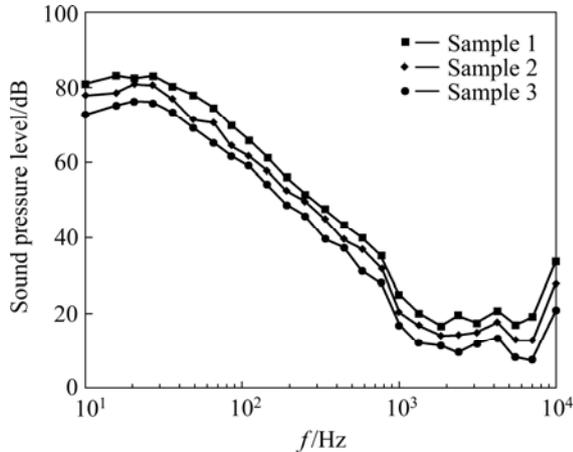


图3 不同厚度试样的噪声频谱对比

Fig.3 Comparison of noise spectrum of porous samples with different thickness

2.3 孔径对气流噪声的影响

图4所示为不同孔径的厚度2 mm试样在3 m/s风速时的气流噪声频谱曲线。由图4可知, 试样气流噪声频谱曲线变化趋势基本相同, 气流噪声集中于低频段并随频率增加而降低。在气流速度、试样厚度及孔隙率相同时, 气流噪声在全频段范围内随孔径增大而增大, 当孔径从0.1 mm增大到0.5 mm时, 声压级增加9 dB。

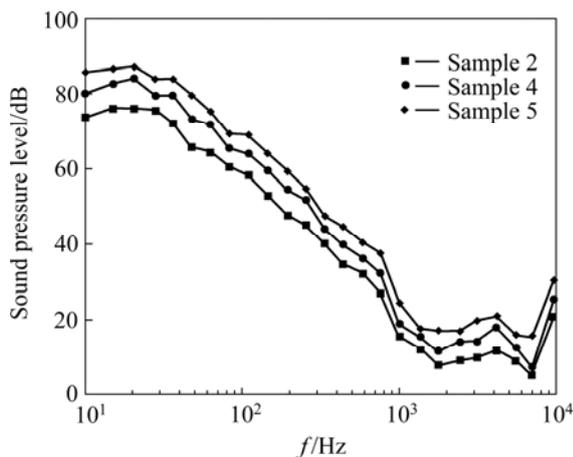


图4 不同孔径试样的噪声频谱对比

Fig.4 Comparison of noise spectrum of porous samples with different pore sizes

2.4 气流速度对噪声的影响

图5所示为试样2在不同气流速度时的气流噪声频谱曲线。当气流从3 m/s增大到5 m/s时, 气流噪声

频谱曲线整体向右上方移动, 声压级随气流速度增大而增加, 平均增幅可达15 dB。

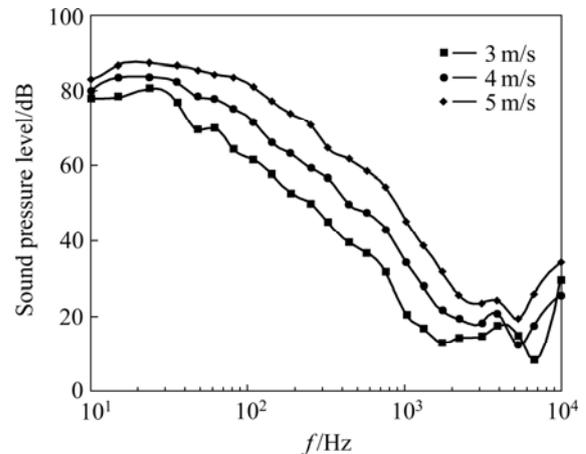


图5 气流速度对噪声的影响

Fig.5 Effect of airflow velocity on noise spectrum

3 讨论

气流流经障碍物时, 由于气体分子粘滞摩擦力的影响, 与障碍物背后相对静止的气体相互作用形成涡流, 并且不断形成又不断脱落, 向外辐射声波, 因而产生噪声。涡流声源属于偶极声源, 其声功率与气流速度的6次方成正比^[12]。

多孔铝合金具有贯通三维孔隙结构, 填料颗粒引起的孔洞占主要部分, 孔洞之间存在铝合金与填料颗粒不润湿引起的孔隙^[10]。试样2的孔结构如图6所示。

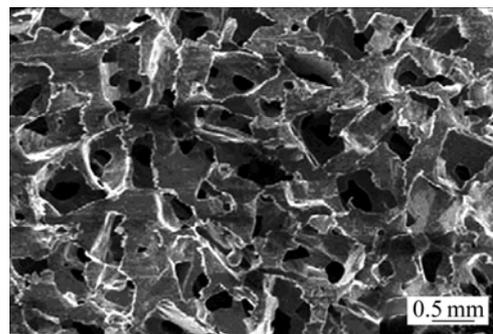


图6 多孔铝合金的截面组织

Fig.6 Section microstructure of porous Al alloy

多孔铝合金的结构类似于截面突然扩大和收缩的管道。气流的局部阻力损失可按式(1)计算^[13-15]:

$$h = m\xi \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^n \frac{\rho u^2}{2} \quad (1)$$

式中: ξ 为阻力系数; m 为弯曲通道的数量; A_1 、 A_2

分别为多孔铝合金的孔洞面积及孔洞间连通孔隙的面积, $A_1 > A_2$; ρ 为空气密度; u 为空气流速; n 为系数, 孔洞突然收缩时 $n=1$, 突然扩大时 $n=2$ 。

在多孔铝合金孔径和孔隙率相同时, 随厚度增大, 弯曲通道的数量 m 增加, 气流经过多孔铝合金时局部阻力损失增大, 气流的速度和湍流度降低, 湍流噪声下降。

在多孔铝合金厚度及孔隙率相同时, 孔径的变化对于流经多孔金属的气流具有两种作用: 1) 随孔径减小, 单位长度上弯曲通道的数量 m 增加, 气流局部阻力损失增大, 速度及湍流度降低, 湍流噪声降低; 2) 随孔径减小, 气流被分割成更多的微射流, 流场湍流度降低。在两种机理的共同作用下, 湍流噪声随孔径减小而降低。

由式(1)可知, 流经多孔铝合金时, 气体的局部阻力损失与其速度的平方成正比; 随气流速度增大, 其局部阻力损失相应增大, 流速及湍流度降幅增大, 多孔铝合金表现出更佳的降噪效果。

4 结论

1) 小孔径多孔铝合金($d_{0.1\sim 0.5}$ mm)的气流噪声集中于低频段, 其声压级随频率增加而降低; 当频率大于 2 000 Hz 时, 声压级趋于一致。

2) 相对于孔, 试样的低频气流噪声下降 18 dB, 降幅随频率增加而减小。

3) 随试样厚度增大、孔径减小, 气流噪声减小, 多孔铝合金的降噪性能提高; 随气流速度增大, 虽噪声增加, 多孔铝合金具有更好的降噪效果。

4) 采用 0.1 mm 孔径多孔铝合金明显改善语音系统的防风降噪性能。

REFERENCES

- [1] BANHART J. Manufacture, characteristic and application of cellular metals and metal foams[J]. *Progress in Materials Science*, 2001, 46(6): 559-632.
- [2] RAMAMURTY U, PAUL A. Variability in mechanical properties of a metal foam[J]. *Acta Materials*, 2004, 52(4): 869-876.
- [3] PAPADOPOULOS D P, KONSTANTINIDIS I C, PAPANASTASIOU N, SKOLIANOS S, LEFAKIS H, TSIPAS D N. Mechanical properties of Al metal foams[J]. *Materials Letters*, 2004, 58(21): 2574-2578.
- [4] DELAY M E, BAZLEY N. Acoustical properties of fibrous absorbent materials[J]. *Applied Acoustics*, 1970, 3: 115-116.

- [5] WANG C N, TORNG J H. Experimental study of the absorption characteristics of some porous fibrous materials[J]. *Applied Acoustics*, 2001, 62: 447-459.
- [6] 程桂萍, 陈宏灯, 何德坪, 舒光冀. 孔结构对多孔铝吸声性能的影响[J]. *机械工程材料*, 1999, 23(5): 30-31.
CHENG Gui-ping, CHEN Hong-deng, HE De-ping, SHU Guang-ji. Effect of pore structure on acoustic properties of porous aluminum[J]. *Materials for Mechanical Engineering*, 1999, 23(5): 30-31.
- [7] LU T J, HESS A, ASHBY M F. Sound absorption in metallic foams[J]. *Journal of Application Physics*, 1999, 85(11): 7528-7539.
- [8] 何枫, 张锡文, 王学芳. 多孔材料的流体动力特性[J]. *复合材料学报*, 2002, 19(1): 107-112.
HE Feng, ZHANG Xi-wen, WANG Xue-fang. Flow characteristics from porous sound absorbing materials[J]. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2002, 19(1): 107-112.
- [9] 张锡文, 郝鹏飞, 何枫, 王学芳. 多孔扩散型消声器外壳对其性能影响的研究[J]. *应用声学*, 2001, 20(2): 18-22.
ZHANG Xi-wen, HAO Peng-fei, HE Feng, WANG Xue-fang. Effect of the outer casing of a porous diffusion type silencer on the noise reduction of silencer[J]. *Applied Acoustics*, 2001, 20(2): 18-22.
- [10] 杨东辉, 何德坪. 多孔铝合金的孔隙率[J]. *中国科学(B 辑)*, 2001, 31(3): 265-271.
YANG Dong-hui, HE De-ping. Porosity of porous Al alloys[J]. *Science in China (Series B)*, 2001, 31(3): 265-271.
- [11] 程桂萍, 陈锋, 何德坪, 舒光冀. 用负压渗流法制备通孔泡沫金属[J]. *东南大学学报: 自然科学版*, 1997, 27(3): 73-76.
CHENG Gui-ping, CHEN Feng, HE De-ping, SHU Guang-ji. Preparation of open-pore metallic foam by negative pressure infiltration process[J]. *Journal of Southeast University: Natural Science Edition*, 1997, 27(3): 73-76.
- [12] 马大猷. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 93-94.
MA Da-you. *Noise and vibration control engineering*[M]. Beijing: China Machine Press, 2002: 93-94.
- [13] 林瑞泰. 多孔介质传热传质引论[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 53-78.
LIN Rui-tai. *Introduction to heat and mass transfer in porous media*[M]. Beijing: Science Press, 1995: 53-78.
- [14] 梅焱. 冶金传递过程原理[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1987: 70-85.
MEI Chi. *Principle of transport processes in metallurgy*[M]. Changsha: Central South University of Technology Press, 1987: 70-85.
- [15] 归柯庭, 汪军, 王秋颖. 工程流体力学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 183-200.
GUI Ke-ting, WANG Jun, WANG Qiu-ying. *Engineering fluid mechanics*[M]. Beijing: Science Press, 2003: 183-200.

(编辑 李向群)