

文章编号: 1004-4353(2019)02-0185-04

# 泡沫铝复合结构的声学性能研究

唐振正, 崔承勋\*

( 延边大学 工学院, 吉林 延吉 133002 )

**摘要:** 为了研究泡沫铝复合板面密度和厚度对隔声量的影响,测定了 3 组不同组合的泡沫铝复合板试件的隔声量,并与其他隔音材料的隔声量进行了对比. 研究结果显示,泡沫铝复合板的隔声效果优于胶合板和诺美克斯蜂窝,且泡沫铝复合板的隔声效果随着泡沫铝复合板的面密度和厚度的增加而增强.

**关键词:** 隔声量; 泡沫铝; 面密度

中图分类号: TH122

文献标识码: A

## Analysis and research on acoustic properties of aluminum foam composite structures

TANG Zhenzheng, CUI Chengxun\*

( College of Engineering, Yanbian University, Yanji 133002, China )

**Abstract:** In order to study the influence of the surface density and thickness of aluminum foam composite plates on the sound insulation, the sound insulation of three different groups of composite foam plates was measured and compared with that of other sound insulation materials. The results show that the sound insulation effect of aluminum foam composite board is better than that of plywood and nomex honeycomb, and the sound insulation effect of aluminum foam composite board increases with the increase of surface density and thickness of aluminum foam composite board.

**Keywords:** sound reduction index; aluminum foam; the surface density

## 0 引言

泡沫铝作为一种新型材料,具有良好的减震、阻尼、吸音、隔声、散热、吸收冲击能等性能,但由于其本身强度不高,因此难以单独作为吸能结构件<sup>[1]</sup>. 为了提高泡沫铝的强度,黄小清等<sup>[2]</sup>研究了泡沫铝的初始密度、孔径和试件尺寸大小等因素对其力学性能的影响,得出泡沫铝应力-应变关系主要由初始密度决定,即初始密度越大泡沫铝的屈服强度越高. 王耀琦<sup>[3]</sup>研究了由梯度泡沫铝填充胀环结构所构成的复合结构的性能,结果表明其减振、抗缓冲性能优于胀环结构. 陈明营等<sup>[4]</sup>将

泡沫纯铝基体变为铝合金基体,并向基体中加入非金属硬质颗粒、纤维等,结果表明添加非金属对泡沫铝材料的性能有显著提升. 目前,泡沫铝复合与其他材料的隔声性能的对比尚未有文献报道. 基于此,本文将挤压铝板和泡沫铝板组成不同厚度的泡沫铝复合板,并对泡沫铝复合板与其他材料的隔声量进行了对比.

## 1 泡沫铝复合板传声理论分析

泡沫铝复合板具有耐火、耐高温、吸声、吸热及高强度等特点,被广泛应用于缓冲、减震、隔声、

收稿日期: 2018-12-17

\* 通信作者: 崔承勋(1963—),男,博士,副教授,研究方向为机构学与机械动力学.

保温以及环保等领域<sup>[5]</sup>. 图 1 为泡沫铝复合板的横截面示意图, 图中间为多孔金属泡沫铝, 两边为铝板.

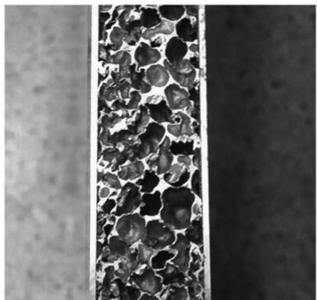


图 1 泡沫铝复合板的横截面示意图

图 2 为泡沫铝复合板示意图. 图 2 中  $\sigma$  为外层板的面密度,  $d_0$  为泡沫铝板的厚度,  $p_0$ 、 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$  为各表面的声压,  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$  为各表面的声阻抗.

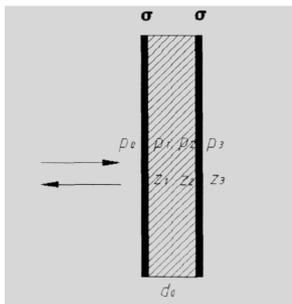


图 2 泡沫铝复合板模拟图

$Z_3$  为空气介质的阻抗, 其计算公式为:

$$Z_3 = \rho_0 c_0. \quad (1)$$

$Z_3$  对应于初始点的值, 用  $Z_T$  来表示:

$$Z_T = \frac{i\bar{\omega}\rho}{b \tanh \epsilon}, \quad (2)$$

其中:  $\frac{i\bar{\omega}\rho}{b} = Z_0$ , 为泡沫铝的特性阻抗;  $b$  为泡沫铝

的传播常数; 常数  $\epsilon$  可以表示为

$$\epsilon = \operatorname{arctanh}(Z_0/Z_T). \quad (3)$$

根据式(2)和式(3)可以得到:

$$Z_2 = \rho_0 c_0 - i\omega\sigma, \quad (4)$$

$$Z_1 = Z_0 \coth(bd_0 + \epsilon). \quad (5)$$

用  $p_0$  表示泡沫铝复合板前方的声压, 用  $p_3$  表示透过泡沫铝复合板的声压, 则结构的隔声量为  $p_0/p_3$ .

首先计算声压值的相互关联. 根据惯性质量

层的运动方程以及阻抗的定义, 可得

$$\frac{p_0}{p_1} = 1 - i\bar{\omega}\sigma/Z_1. \quad (6)$$

利用相同的办法把  $p_1$  和  $p_2$  联系起来, 则层中的声压可以记为

$$p = 2A \cosh(bz + \epsilon), \quad (7)$$

其中  $A$  为常数,  $z$  为垂直于层面上的量度坐标.

由式(3)一式(7)可得

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\cosh(bd_0 + \epsilon)}{\cosh \epsilon}. \quad (8)$$

由于前铝板的  $p_0$ 、 $p_1$  的转换效果与后铝板的  $p_2$ 、 $p_3$  的转换效果类似, 所以可得

$$\frac{p_2}{p_3} = 1 - i\bar{\omega}\sigma/Z_3. \quad (9)$$

将公式(6)、(8)、(9)中的声压比值依次相乘, 即可得出  $\frac{p_0}{p_3}$  的值. 将  $\frac{p_0}{p_3}$  值带入公式(10)<sup>[6]</sup>, 即可计算出泡沫铝复合板的隔声量  $TL$ .

$$TL = 10 \log \left| \frac{p_0}{p_3} \right|^2. \quad (10)$$

## 2 泡沫铝复合板的隔声量测定

本文主要根据《声学 建筑和建筑构件隔声测量 第 3 部分: 建筑构件空气声隔声的实验室测量》(GB/T 31004.1—2014)的相关规定对泡沫铝复合板的隔音效果进行测定. 表 1 为泡沫铝复合板试件 A、B、C、D 的技术参数.

表 1 试件 A、B、C、D 的技术参数

参数	试件 A	试件 B	试件 C	试件 D
尺寸/mm	839×839	839×839	839×839	839×839
厚度/mm	12	12	22	22
质量/kg	7.9	7.6	10.2	10.5
表面密度/(kg/m <sup>2</sup> )	11.14	10.8	14.5	14.85

### 2.1 泡沫铝复合板试件 A、B 的隔声量测定

通过劲度实验, 得试件 A 的劲度要高于试件 B. 试件 A、B 的隔声量测定结果如图 3 所示. 由图 3 中的折线可知, 试件 A、B 的隔声量符合质量定律, 并且试件 A、B 在 250 Hz 和 500 Hz 时分别发生一阶共振和二阶共振.

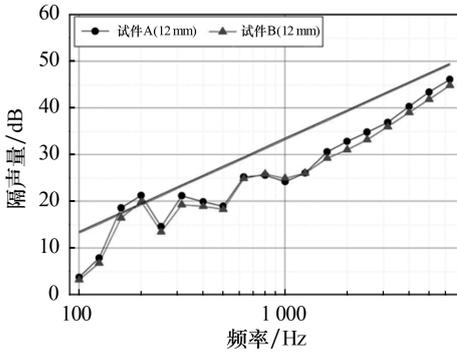


图3 试件A、B的隔声量

## 2.2 泡沫铝复合板试件C、D的隔声量测定

通过劲度实验,测得试件D的劲度高于试件C.试件C、D的隔声量测定结果如图4所示.由图4中的折线可知,当频率低于700 Hz时,试件C、D的隔声量符合质量定律,并且试件C、D在160 Hz和400 Hz时分别发生一阶共振和二阶共振,且这两处的隔声量出现下降.

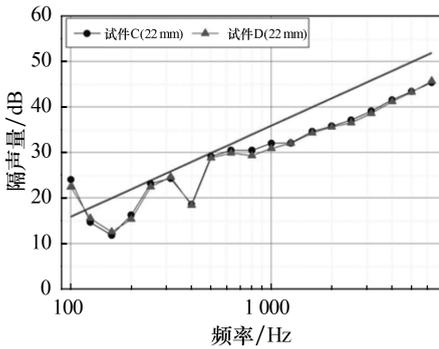


图4 试件C、D的隔声量

## 2.3 泡沫铝复合板试件A、C的隔声量对比

图5为试件A、C的隔声量对比图.图5中的折线表明,试件C的隔声性能高于试件A.由于试件C的面密度高于试件A(表1),因此可知板的面密度能够影响隔声性能.

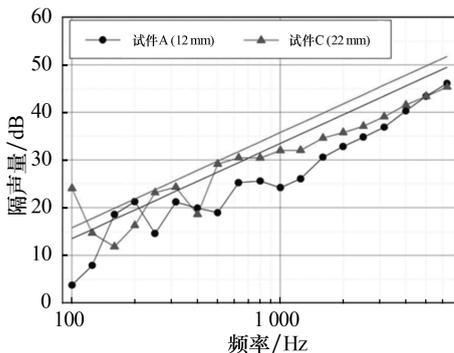


图5 试件A、C的隔声量

## 2.4 泡沫铝复合板与其他材料的隔声量对比

选用胶合板(plywood)和诺美克斯蜂窝板(nomex honeycomb)与泡沫铝复合板(试件A)进行隔声量对比,各材料的参数如表2所示.

表2 不同材料的技术参数

参数	泡沫铝复合板	胶合板	诺美克斯蜂窝板
尺寸/mm	839×839	839×839	836×836
厚度/mm	12	18	10
质量/kg	7.9	9	2.4
表面密度/(kg/m <sup>2</sup> )	11.14	12.71	3.43
X方向劲度/(N/m)	1 689	1 224	181
Y方向劲度/(N/m)	1 689	1 759	216

图6为胶合板与泡沫铝复合板的隔声量对比图.从图6可以看出,两种材料的隔声量相似.从两种材料的物理性能来看,胶合板的面密度、厚度高于泡沫铝复合板,但其劲度较低;所以从综合考虑来看,泡沫铝复合板的隔声性能优于胶合板.

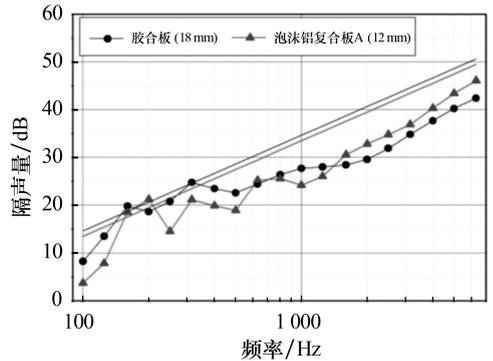


图6 泡沫铝复合板与胶合板的隔声量对比

图7为诺美克斯蜂窝板与泡沫铝复合板的隔声量对比图.从图7可以看出,泡沫铝复合板的隔声量始终高于诺美克斯蜂窝板.从两种材料的物理性能来看,诺美克斯蜂窝板的面密度和厚度低于泡沫铝复合板,且劲度过低,不能承受过大的弯曲应力;所以,无论在隔声性能上,还是在物理性能上,泡沫铝复合板都要优于诺美克斯蜂窝板.

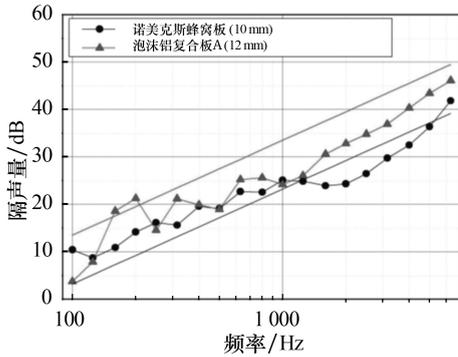


图 7 泡沫铝复合板与诺美克斯蜂窝板的隔声量对比

### 3 结论

将泡沫铝复合板的隔声量与胶合板和诺美克斯蜂窝的隔音量进行了对比,结果表明泡沫铝复合板的隔音性能优于这两种材料,且泡沫铝复合板的隔声性能随着面密度和厚度的增加而增强.本文所得结果可以为泡沫铝复合板的隔声应用提供参考.本文在实验中没有考虑泡沫铝孔隙的大小对隔声量的影响,今后将进一步研究泡沫铝孔隙大小对隔声性能的影响.

### 参考文献:

- [1] YANG Donghui, YANG Shangrun, WANG Hui, et al. Compressive properties of cellular Mg foams fabricated by melt-foaming method[J]. Materials Science and Engineering, 2010, A527 (21): 5405-5409.
- [2] 黄小清,刘逸平,汤立群,等.基于相对即时密度的泡沫铝材料力学性能研究[J].实验力学,2004,19(2):170.
- [3] 王耀琦.多层泡沫铝填充胀环复合机构缓冲特性研究[D].太原:中北大学,2018.
- [4] 陈明营,纪箴,贾成厂,等.泡沫铝及其复合材料的研究进展[J].粉末冶金技术,2019,37(1):68-73.
- [5] 薛涛.多孔金属材料泡沫铝的发展[J].机械工程材料,1992(1):4-6.
- [6] 姜燕坡,白国锋,隋富生,等.多层复合材料的声学性能研究[J].环境工程,2012(S1):211-213.
- [7] 声学 建筑和建筑构件隔声测量第 3 部分:建筑构件空气声隔声的实验室测量:GB/T 19889.3—2005 [S].北京:中国标准出版社,2006.

(上接第 116 页)

### 参考文献:

- [1] WATERMAN M S. Combinatorics of RNA hairpins and cloverleaves[J]. Studies in Applied Mathematics, 1978, 60:91-96.
- [2] SCHMITT W R, WATERMAN M S. Linear trees and RNA secondary structures[J]. Discrete Applied Mathematics, 1994,51:317-323.
- [3] HOFACKER I L, SCHUSTER P, STADLER P F. Combinatorics of RNA secondary structure[J]. Discrete Applied Mathematics, 1998,88:207-237.
- [4] LIAO B, WANG T M. General combinatorics of RNA secondary structures[J]. Mathematical Biosciences, 2004, 191:69-81.
- [5] WANG W W, ZHANG M, WANG T M. Asymptotic enumeration of RNA secondary structure[J]. J Math Anal Appl, 2008,342:514-523.
- [6] CLOTE P. Combinatorics of saturated secondary structures of RNA[J]. Journal of Computational Biology, 2006, 13:1640-1657.
- [7] CHEN W Y C. A general bijective algorithm for trees[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1990,87(24):9635-9639.
- [8] LIU C L, WANG Z H. A bijection between ordered trees and bicoloured ordered trees[J]. Discrete Mathematics, 2009,309:1417-1421.