

文章编号:1008-1534(2014)01-0065-04

# 泡沫铝在船舶舱室中的降噪应用

孙明倩, 魏 兵, 张会玲

(华北电力大学能源动力与机械工程学院, 河北保定 071003)

**摘 要:**针对船舶舱室内的噪声问题,利用阻性吸声材料泡沫铝无毒、阻燃、无粉尘、工艺性能好的特点,模拟舱室环境,对舱室进行了噪声治理。模拟结果表明加泡沫铝后,可以使舱室空气噪声平均降低约 10 dB,具有显著的降噪效果。

**关键词:**泡沫铝;船舶;吸声降噪

中图分类号:TB535

文献标志码:A

doi: 10.7535/hbgykj.2014yx0115

## Application of foamed aluminum for noise control in watercraft cabin

SUN Mingqian, WEI Bing, ZHANG Huiling

(School of Energy, Power and Mechanical Engineering, North China Electric Power University, Baoding Hebei 071003, China)

**Abstract:** In this paper, the noise in watercraft cabin is discussed. The noise control in the space was simulated by using the damping sound-absorption material of foam aluminum, which has the characteristics of non-toxic, inflaming retarding, no dust, and good processing, etc. The simulation results show that the noise in cabin can be reduced 10 dB by using the foam aluminum. The effect of noise control is obvious.

**Key words:** aluminum foam; watercraft space; sound absorption

船舶舱室的噪声主要来自柴油机,舱内的噪声不仅会干扰和破坏船舶自身的仪器设备的工作性能,影响利用电话和传话管路进行通讯,并且船员如果长时间处于强噪声工作环境下,注意力与工作能力都会降低,影响身心健康<sup>[1]</sup>。对于封闭空间,混响对噪声的影响较大,吸声降噪是有效降低舱室混响的有效措施。本文以某小型船舶噪声过高的现象,对混响噪声进行吸声控制。

传统的吸声材料主要有:有机纤维材料(如棉麻纤维、木质纤维板),无机纤维材料(如玻璃棉、岩棉),以及泡沫聚合物材料(聚氨酯泡沫塑料、聚丙烯泡沫塑料),但这些材料的强度低、性脆易断、使用寿命短、易潮解、吸尘易飞扬,容易形成二次污染<sup>[2-4]</sup>,考虑到船舶上的特殊环境以及人员的健康要求,应选择质量轻、吸声性能优良、耐火、阻燃、防潮、无粉尘、无毒的健康环保材料。随着科技和制造工业的发展,一种新型的多孔吸声材料应运而生,这种材料即为泡沫金属材料。

收稿日期:2013-06-25;修回日期:2013-09-02

责任编辑:王海云

作者简介:孙明倩(1989-),女,河北保定人,硕士研究生,主要从事供热、供燃气、通风及空调工程方面的研究。

通讯作者:魏 兵教授。E-mail:weibing8899@sina.com

孙明倩,魏 兵,张会玲.泡沫铝在船舶舱室中的降噪应用[J].河北工业科技,2014,31(1):65-68.

SUN Mingqian, WEI Bing, ZHANG Huiling. Application of foamed aluminum for noise control in watercraft cabin[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2014, 31(1): 65-68.

### 1 泡沫铝的发展及制备

泡沫金属最早由美国 Ethyl 公司在 20 世纪 60 年代开始研究,日本在 20 世纪 70 年代开始研制,并于 80 年代投入应用。中国对泡沫金属的研制始于 20 世纪 80 年代,并已取得一定的成果。目前泡沫

金属研究已经涉及到的金属包括 Al, Ni, Cu, Mg 等,其中研究最多的是泡沫铝及其合金。1948 年,美国人 SOSNIK 首先提出利用汞在铝中气化而制取泡沫铝的想法,并获得了有关泡沫铝制备的第一个专利。随后 ELLIOT 发展了这一技术,并用发泡剂代替了汞于 1951 年成功生产出泡沫铝,即用发泡法生产泡沫铝,这标志着泡沫金属研制的开始。随着对泡沫金属制备工艺研究的逐步深入,其制备方法也日益完善<sup>[2,5-9]</sup>。目前泡沫金属的制备工艺可分为铸造法、烧结法、发泡法以及沉积法等。

## 2 泡沫铝的吸声机理及特性

### 2.1 泡沫铝的吸声机理

泡沫铝是一种在金属基体中分布有无数气孔的多孔质材料<sup>[9]</sup>,如图 1 所示。

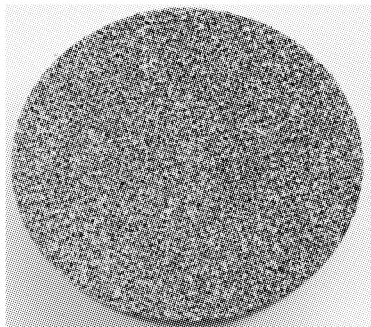


图 1 泡沫铝的外观结构图

Fig. 1 Structure of aluminum foam

它的吸声机理是:多孔材料内部具有大量细微孔隙,孔隙间彼此贯通,孔隙深入材料内部只通过表面与外界相通,当声波入射到材料表面时,一部分被材料表面反射掉,另一部分则透入到材料内部向前传播,在传播过程中,引起孔隙中空气的运动,与形成孔壁的固体筋络发生摩擦,由于粘滞性和热传导,将声能转变为热能而被耗散掉,同时,泡沫铝内部小孔中的空气媒介也由于热传导效应使得声波转化成热能,使声能得到衰减。

### 2.2 泡沫铝的特性

泡沫铝是一种利用其孔结构来获得特殊性能的功能材料,具有结构敏感性。其孔结构不同,性能就不一样。由于其独特的孔结构,具有以下性能特点<sup>[10-11]</sup>:1) 质量轻,比重小。泡沫铝的容重仅有  $0.15 \sim 0.50 \text{ g/cm}^3$ ,比重仅为同体积金属的  $1/50 \sim 3/52$ 。2) 优良的吸声性能。泡沫铝具有良好的吸声性能,容重为  $0.27 \text{ g/cm}^3$  的泡沫铝的平均吸声系数可达  $0.40 \sim 0.50$ (如图 2 所示<sup>[11]</sup>)。3) 泡沫铝防火、耐温性能优良。泡沫铝在发泡过程中生成氧化铝网

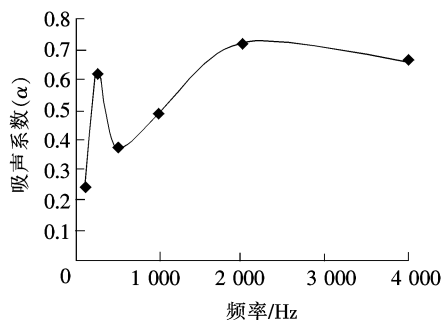


图 2 泡沫铝的吸声系数

Fig. 2 Absorption coefficients of foamed aluminum

架,使其耐火性能优良,达到  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  才开始软化,真正熔化要到  $1000 \sim 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ ,并且,泡沫铝遇火不挥发有毒或有害气体。而常用降噪材料泡沫石棉的工作温度为  $50 \sim 500 \text{ }^\circ\text{C}$ ,玻璃棉板的工作温度不大于  $538 \text{ }^\circ\text{C}$ 。4) 防潮,耐湿。常用的玻璃棉、泡沫石棉等吸声材料,常常会因吸水或吸潮使吸声性能大大降低。而泡沫铝的吸湿率几乎为 0,潮湿的环境对其吸声性能没有太大的影响。5) 机械强度高。泡沫铝是由金属骨架和气泡构成的泡沫体,为刚性结构,且加工性能好,能制成各种形式的吸声板。6) 隔热性能良好。一般金属的导热系数为  $10 \sim 300 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ,隔热材料的导热系数小于  $0.2 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ,泡沫铝(孔径为  $2.7 \text{ mm}$ ,孔隙率为  $73\% \sim 83\%$ )表观导热系数为  $1.9 \sim 2.2 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ,可用作隔热材料。

综上所述,泡沫铝很适合在船舶舱室中使用。

另外,泡沫铝背后加入封闭的空气层时,使泡沫铝形成共振吸声结构,从而在一定程度上改善了泡沫铝的吸声性能,其吸声机理主要是赫姆霍兹共振器原理。泡沫铝内部存在着大量的相互连通的细孔,这些细孔与空气层相连,细孔就相当于赫姆霍兹共振器的短管,而空气层相当于赫姆霍兹共振器的器腔,因此,这些具有不同形状以及不同长度的细孔与背后空腔形成了大量的固有频率为低频的赫姆霍兹共振器。当入射声波的频率与结构的固有频率相同时,就会发生共振,这时孔隙中的空气由于共振而产生剧烈的振动,在振动过程中,孔通道中的空气与孔壁面发生摩擦,由于粘滞阻力和热传导的作用,使得声能得到很大的损耗,从而起到吸声效果。

## 3 船舶舱室噪声仿真分析

利用 Virtual Lab Acoustic 声学模块中的 Harmonic Acoustic FEM(声学有限元法)对舱室内小空间中应用泡沫铝之后的吸声降噪效果进行分析。

### 3.1 结构模型

简化的结构图如图 3 所示。图 3 中立方体的

长、宽、高分别为 4 m,3 m,2.5 m。点声源位于立方体侧面的几何中心,坐标为(4 m,1.5 m,1.25 m)。研究的频率范围为 0~5 000 Hz。

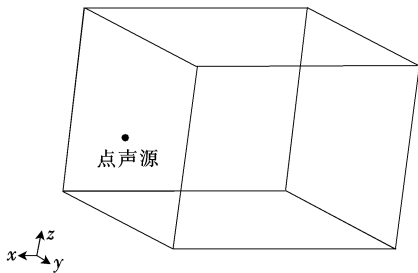


图 3 模型结构图

Fig. 3 Structure of the model

### 3.2 设计方案

考虑到舱室空间较小,空间宝贵,为了便于安装和不影响正常工作,仿真选用孔隙率为 75%,厚度为 30 mm 的泡沫铝作为饰面,泡沫铝与船舶舱室壁之间为 20 mm 的空气层,如图 4 所示。

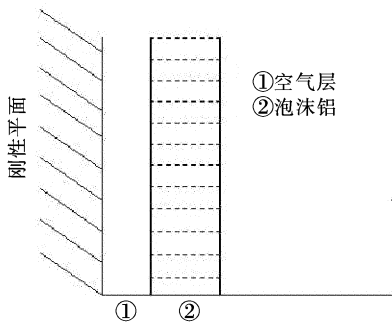


图 4 设计方案示意图

Fig. 4 Sketch map for the project

### 3.3 确定边界条件

将有限元网格模型导入到 Virtual Lab,在 Set Mesh Parts Type 中把网格类型设置为 Set as Acoustical,即将网格模型定义为声学网格类型。将泡沫铝看成为流体,在 New Fluid Material 中新建流体的材料属性,空气层的声速定义为 Constant 类型,实部 Real 定义为 340 m/s,虚部 Imaginary 定义为 0。质量密度定义为 Constant 类型,实部 Real 定义为 1.225 3 kg/m<sup>3</sup>,虚部 Imaginary 定义为 0,见图 5。泡沫铝层的声速,质量密度均定义为 Frequency Dependent,实部和虚部的数据均从 Excel 导入,如图 6 所示。

在 New Acoustic Fluid Property 中把不同的流体材质赋予给对应的有限元网格,图 7 为将泡沫铝材料看成流体后,对网格赋予泡沫铝的属性。

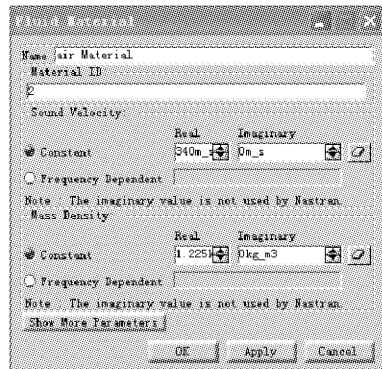


图 5 在 Virtual Lab 里定义空气材料

Fig. 5 Setting up air materials in the Virtual Lab

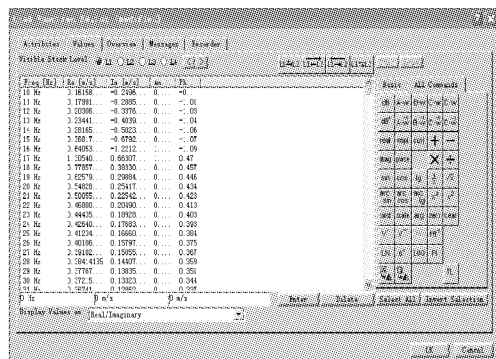


图 6 将泡沫铝层的声速数据由 Excel 导入到 Virtual Lab 里

Fig. 6 Exporting data of sound velocity in foamed aluminum from Virtual Lab to Excel

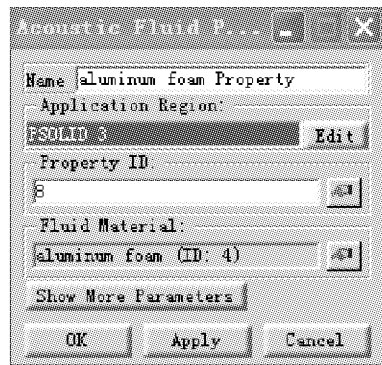


图 7 在 Virtual Lab 里给网格赋予泡沫铝材质

Fig. 7 Setting up foamed aluminum in Virtual Lab

### 3.4 仿真结果

图 8 为舱室加装吸声材料前后,仿真得到的 0~5 000 Hz 下的声压级曲线。对比得到,加入吸声材料层后,可以使舱室空气噪声平均降低约 10 dB,具有显著的降噪效果。从图 9 中还可以看出,安装吸声饰面后,在高频段降噪效果明显,特别是在 1 500~4 500 Hz,其降噪量普遍在 10 dB,在某些频段达到了 13 dB,但在低、中频( $\leq 1\ 000$  Hz)段降低程度较小,这是因为泡沫铝吸声材料对高频噪声的

吸收能力较强。

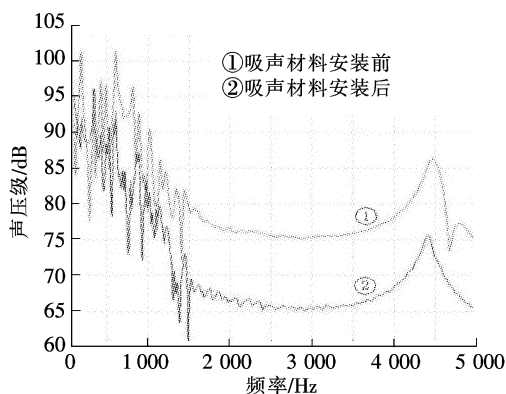


图8 船舶舱室安装泡沫铝前后的仿真降噪效果

Fig. 8 Comparison of sound pressure level simulation with and without foamed aluminum in ship cabin

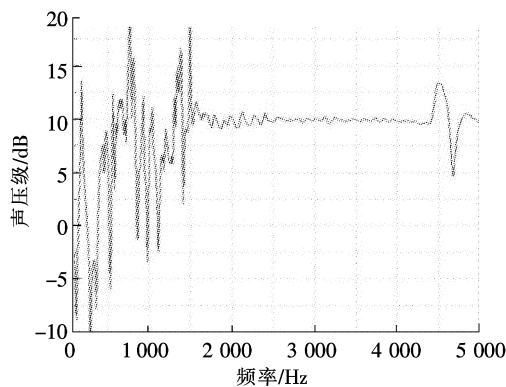


图9 船舶舱室安装泡沫铝前后的仿真计算值差值

Fig. 9 Noise pressure level reduction after installing foamed aluminum

#### 4 结论

1) 泡沫铝的吸声性能良好,具有耐火、阻燃、防潮、无粉尘等特点,解决了传统吸声材料易吸潮,危害船员健康等问题,比较适合作为船舶舱室的降噪材料。

2) 船舶舱室模拟结果表明,安装泡沫铝降噪材料后舱室内噪声可平均降低约 10 dB,降噪效果显著。

3) 安装吸声饰面后,高频噪声得到有效控制,在低、中频( $\leq 1000$  Hz)段降噪效果起伏比较大,降低程度较小。

#### 参考文献/References:

[1] 舒国良. 潜艇低噪声空调系统的研究与设计[J]. 舰船科学技术, 1980(12): 70-78.  
SHU Guoliang. Submarine low noise air conditioning systems

research and design[J]. Ship Science and Technology, 1980 (12): 70-78.

[2] 金卓仁. 泡沫金属吸声材料的研究[J]. 噪声与振动控制, 1993(3): 31-35.

JIN Zhuoren. Metal foam sound absorption materials research [J]. Noise and Vibration Control, 1993 (3): 31-35.

[3] ALLARD J F, CHAMPOUX Y. New empirical equations for sound propagation in rigid frame fibrous materials [J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1992, 91 (6): 3346-3353.

[4] WILSON D K. Relaxation-matched modeling of propagation through porous media, including fractal pore structure [J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1993, 94(2): 1136-1145.

[5] 汤慧萍, 张正德. 金属多孔材料发展现状[J]. 稀有金属材料与工程, 1997, 26(1): 1-6.

TANG Huiping, ZHANG Zhengde. Developmental states of porous metal materials [J]. Rare Metal Materials and Engineering, 1997, 26(1): 1-6.

[6] ANDREWS E W, GIBSON L J. The influence of cracks, notches and holes on the tensile strength of cellular solids [J]. Acta Materialia, 2001, 49(15): 2975-2979.

[7] MCCORMACK T M, MILLER R, KESLER O, et al. Failure of sandwich beams with metallic foam cores [J]. International Journal Solids and Structures, 2001, 38(28/29): 4901-4920.

[8] OH J E, KIM S H. Interior and exterior noise reduction of a rectangular enclosure according to the determination of suitable thickness of the foamed aluminum sheet absorber [J]. JSME International Journal Series C, 1999, 42(1): 24-32.

[9] SONG Zhenlun, MA Liqun, WU Zhaojin, et al. Effects of viscosity on cellular structure of foamed aluminum in foaming process [J]. Journal of Material Science, 2000, 35(1): 15-20.

[10] 李海斌. 泡沫金属吸声性能的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2009.

LI Haibin. Study on Sound Absorption Behavior of Metal Foam [D]. Baoding: North China Electric Power University, 2009.

[11] 王政红. 新型降噪材料——泡沫铝在船舶上的应用[A]. 2004年材料科学与工程新进展[C]. 北京: 中国材料研究学会, 2004. 1434-1439.

WANG Zhenghong. The application on ship of new-type noise-absorbing material——foamed aluminium [A]. New Progress in Materials Science and Engineering in 2004 [C]. Beijing: Chinese Materials Research Society, 2004. 1434-1439.

[12] 刘晓鸣. 基于有限元法的汽车消声器降噪性能仿真研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.

LIU Xiaoming. Research on Simulation of Vehicle Muffler Noise Attenuation Based on FEM [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.

[13] 崔海亭, 刘凤青, 朱金达, 等. 高孔隙率泡沫金属对相变蓄热的强化研究[J]. 河北科技大学学报, 2010, 31(2): 93-96.

CUI Haiting, LIU Fengqing, ZHU Jinda, et al. Enhancement of high porosity metal foam to phase change energy storage [J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2010, 31(2): 93-96.

[14] 卢志才, 米东, 徐章遂, 等. 多尺度多元素形态滤波自适应降噪研究[J]. 河北科技大学学报, 2011, 32(3): 228-232.

LU Zhicai, MI Dong, XU Zhangsui, et al. Research in application of multi-scale and multi-element morphological filtering in geomagnetic orientation [J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2011, 32(3): 228-232.