

含有空气背衬层的分层多孔材料的吸声性能研究

宁景锋, 赵桂平, 穆 林, 卢天健

(西安交通大学强度与振动国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘要: 根据声波在介质中的传播规律, 计算了声波垂直入射到含有空气背衬层的分层多孔材料吸声结构的吸声系数。以含有空气背衬层的双层泡沫铝结构为例, 研究了各层泡沫铝的设计参数和空气背衬层厚度变化对吸声结构吸声系数的影响规律。研究表明: 随着各层孔隙率增加、或厚度增加、或流阻率增加, 双层泡沫铝空气背衬层吸声结构的吸声系数逐渐增大; 在低频段增加空气背衬层厚度, 吸声系数增大, 且最高吸声系数表现出向低频迁移的趋势; 在中频段, 当增加各层孔隙率或流阻率时, 没有空气背衬层的双层泡沫铝吸声结构则呈现出更好的吸声性能。合理调整各层材料的设计参数, 可在较宽频段上达到满意的吸声效果。

关键词: 吸声; 空气背衬层; 分层多孔材料; 泡沫铝

中图分类号: O422.8; TU112.4⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1004-4523(2014)05-0734-07

引 言

在工程应用中, 为了得到理想的吸声效果, 可以采用不同的结构形式, 例如穿孔结构, 分层结构和添加空气背衬层等^[1~7]。分层结构是由不同的吸声材料按照一定的工艺参数复合而成, 使得声波在吸声结构中逐层衰减, 以达到与介质的阻抗匹配而减弱反射。泡沫金属是一种典型的多孔材料, 具有耐高温、耐腐蚀及抗冲击特性, 同时具有质轻、吸声、电磁屏蔽及隔热等功能性特征。空气背衬层与多孔材料形成的赫姆霍兹共振腔可以起到消声效果, 两者同时作用使得吸声结构的吸声能力明显改善^[8,9]。因此, 含有空气背衬层的分层多孔材料是一种优良的吸声结构。

当声波作用于多孔材料时, 一方面材料里的空气在声波作用下产生振动引起空气与孔道壁的摩擦; 另一方面孔道中的空气在声波作用下引起压缩伸张形变, 在形变过程中, 空气的温度发生变化, 因而与孔道壁之间产生热传导作用^[10,11]。Duan 等采用 Johnson-Allard 模型对高温烧结的多孔陶瓷材料的吸声系数进行了计算^[9], 认为该模型适合于分析多孔材料的吸声性能。刘新金等根据声波在分层介质中的传播方程^[3], 计算了双层多孔材料吸声结构

的吸声系数, 对影响结构吸声性能的物理参数作了分析。汤慧萍等认为不同孔隙率的排布方式对分层吸声结构的吸声性能有显著影响^[4], 按照孔隙率从高到低排布有利于吸声性能的提高, 在此前提下, 孔隙率越大, 厚度越大, 分层吸声结构的吸声性能越好。Li 和 Huang 等通过实验方法研究了含有空气背衬层泡沫铝的吸声系数^[5,6], 结果表明随着空气层厚度的增加, 低频段的吸声能力得到明显改善, 最高吸声系数向低频移动趋势。

相比之下, 从理论上对含有空气背衬层分层多孔材料的吸声性能分析及参数优化研究甚少。本文采用多孔材料 Johnson-Allard 模型和波动学理论, 建立声波在分层介质中的传播方程, 给出了含有空气背衬层双层多孔材料吸声系数的计算公式, 通过数值计算方法深入研究了含有空气背衬层的双层泡沫铝吸声结构中各层泡沫铝的厚度、孔隙率、流阻率和空气背衬层厚度等参数对该结构吸声性能的影响。

1 理论模型

Johnson-Allard 模型是以 Biot 理论为基础, 在频域中, 引入若干物理参数来描述声波在多孔材料中传播的半唯像模型。该模型把孔隙形状认为是圆

收稿日期: 2013-04-17; 修订日期: 2013-08-15

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(2011CB610305); 国家自然科学基金资助项目(11021202, 11072188); 教育部高等学校学科创新引智计划资助项目(B06024)

柱状,并且把多孔材料和其中的饱和空气看作等效流体,而相应的有效密度和有效弹性模量由以下表达式给出^[8]:

$$\rho = \alpha_\infty \rho_0 \left[1 + \frac{\sigma \theta}{i \omega \rho_0 \alpha_\infty} G_J(\omega) \right] \quad (1)$$

$$K = \kappa p / \left[\kappa - (\kappa - 1) \left(1 + \frac{\sigma' \theta}{i B^2 \omega \rho_0 \alpha_\infty} G'(B^2 \omega) \right)^{-1} \right] \quad (2)$$

式中 α_∞, σ 和 θ 为材料曲折因子 ($\alpha_\infty = 1.02$)、静态流阻率和孔隙率; ρ_0, p, κ 和 η 分别为空气密度 ($\rho_0 = 1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)、压强 ($p = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)、绝热常数 ($\kappa = 1.4$) 和粘滞系数 ($\eta = 1.84 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$); $\omega = 2\pi f$ 为声波角频率, B^2 为普朗特数 ($B^2 = 0.71$); $i = \sqrt{-1}$ 。 $G_J(\omega)$ 和 $G'(B^2 \omega)$ 是关于角频率的函数,其表达式如下^[8]:

$$G_J(\omega) = \sqrt{1 + \frac{4i\alpha_\infty^2 \eta \rho_0 \omega}{\sigma^2 \Lambda^2 \theta^2}}, \quad G_J'(B^2 \omega) = \sqrt{1 + \frac{4i\alpha_\infty^2 \eta \rho_0 \omega}{\sigma'^2 \Lambda'^2 \theta'^2}} \quad (3)$$

$$\Lambda = \frac{1}{c} \sqrt{\frac{8\alpha_\infty \eta}{\theta \sigma}}, \quad \Lambda' = \frac{1}{c'} \sqrt{\frac{8\alpha_\infty \eta}{\theta \sigma'}} = \sqrt{\frac{8\alpha_\infty \eta}{\theta \sigma'}} \quad (4)$$

式中 c 为截面形状因子, c' 为尺度因子, σ' 为与 Λ' 相关的参数, Λ 为粘性特征长度,表征粘滞损耗占主要时孔径内压缩截面的尺寸; Λ' 为热特征长度,表征热损耗占主要时孔径内的表面积较大区域的尺度。多孔材料的特性阻抗 Z_c 和声波传播常数 k 可用有效弹性模量和有效密度表示如下^[2,8,9]:

$$Z_c = \sqrt{K \cdot \rho} \quad (5)$$

$$k = \omega \sqrt{\rho / K} \quad (6)$$

2 吸声结构吸声系数的计算

含有空气背衬层的分层多孔材料吸声结构模型如图 1 所示,假设平面声波垂直入射到多孔材料表面,刚性壁对声波完全反射。其中, $P_0^+, P_0^-, P_1^+, P_1^-, P_2^+, P_2^-, P_a^+, P_a^-$ 分别为空气(介质 0),多孔材料第 1 层(介质 1),多孔材料第 2 层(介质 2)以及空气背衬层(介质 a)中的入射声压和反射声压。根据声波传播规律:各层介质中的质点的振动速度为 $v_m = -\frac{1}{\rho_0} \int \frac{\partial P_m}{\partial x_m} dt$, ($m = 0, 1, 2, a$), 其中 t 为声波在介质中传播的时间项。

由于多孔材料具有良好吸声特性,且声波在不同分界面上会产生反射和透射现象,这都会使声波

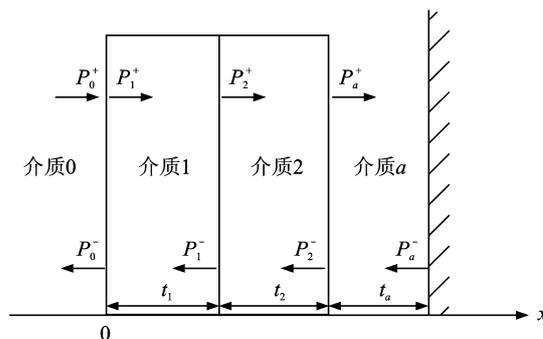


图 1 含有空气背衬层的分层多孔材料吸声结构模型
Fig.1 The sound absorption model of multilayer porous materials backed with an air gap

逐层衰减。假设在介质 0 中入射声压 $P_0^+ = e^{i(\omega t - k_0 x)}$, 反射声压 $P_0^- = R_2 e^{i(\omega t + k_0 x)}$, 则介质 0 中的总声压为

$$P_0 = P_0^+ + P_0^- = e^{i(\omega t - k_0 x)} + R_2 e^{i(\omega t + k_0 x)} \quad (7a)$$

同理可得介质 1, 介质 2 及介质 a 中的总声压为

$$P_1 = P_1^+ + P_1^- = M_1 e^{i(\omega t - k_1 x)} + N_1 e^{i(\omega t + k_1 x)} \quad (7b)$$

$$P_2 = P_2^+ + P_2^- = M_2 e^{i(\omega t - k_2 x)} + N_2 e^{i(\omega t + k_2 x)} \quad (7c)$$

$$P_a = P_a^+ + P_a^- = M_a e^{i(\omega t - k_a x)} + N_a e^{i(\omega t + k_a x)} \quad (7d)$$

式中 $k_0 = k_a = \omega / c_0$ 为空气中声波数, $\omega = 2\pi f$ 为圆频率, k_1, k_2 分别为介质 1 和介质 2 的声波数,具体计算由公式(6)给出, R_2 为反射系数, $M_1, N_1, M_2, N_2, M_a, N_a$ 为待定常数。对于含空气背衬层双层多孔材料的吸声结构,声音在相邻界面上传播的边界条件为:

(a)在介质 0 与介质 1 的交界面上 ($x = 0$) 时, $P_0 = P_1, v_0 = v_1$;

(b)在介质 1 与介质 2 的交界面上 ($x = t_1$) 时, $P_1 = P_2, v_1 = v_2$;

(c)在介质 2 与介质 a 的交界面上 ($x = t_1 + t_2$) 时, $P_2 = P_a, v_2 = v_a$;

(d)在介质 a 与刚性壁的交界面上 ($x = t_1 + t_2 + t_a$) 时, $v_a = 0$ 。

结合各层多孔材料中总声压及质点振动速度,可得下列方程组:

$$\begin{cases} 1 + R_2 = M_1 + N_1 \\ \beta_1 - \beta_1 R_2 = M_1 - N_1 \\ M_1 e^{-ik_1 t_1} + N_1 e^{ik_1 t_1} = M_2 e^{-ik_2 t_1} + N_2 e^{ik_2 t_1} \\ \beta_2 M_1 e^{-ik_1 t_1} - \beta_2 N_1 e^{ik_1 t_1} = M_2 e^{-ik_2 t_1} - N_2 e^{ik_2 t_1} \\ M_a e^{-ik_a(t_1+t_2)} + N_a e^{ik_a(t_1+t_2)} = M_2 e^{-ik_2(t_1+t_2)} + N_2 e^{ik_2(t_1+t_2)} \\ \beta_3 M_a e^{-ik_a(t_1+t_2)} - \beta_3 N_a e^{ik_a(t_1+t_2)} = M_2 e^{-ik_2(t_1+t_2)} - N_2 e^{ik_2(t_1+t_2)} \\ M_a - N_a e^{2ik_a(t_1+t_2+t_a)} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

式中 $\beta_1 = \frac{k_0 \rho_1}{k_1 \rho_0}, \beta_2 = \frac{k_1 \rho_2}{k_2 \rho_1}, \beta_3 = \frac{k_a \rho_2}{k_2 \rho_a}$ 。设 $M_a = \gamma_3 N_a, M_2 = \gamma_2 N_2, M_1 = \gamma_1 N_1$ ，根据方程组(8)，则有：

$$\begin{aligned} \gamma_3 &= e^{2ik_a(t_1+t_2+t_a)}, \\ \gamma_2 &= \frac{1}{\beta_3} \frac{e^{ik_2(t_1+t_2)} - e^{ik_a(t_1+t_2)}}{\gamma_3 e^{-ik_a(t_1+t_2)} - e^{ik_a(t_1+t_2)}} + \frac{e^{ik_2(t_1+t_2)}}{\gamma_3 e^{-ik_a(t_1+t_2)} + e^{ik_a(t_1+t_2)}}, \\ \gamma_1 &= \frac{\beta_2}{\gamma_2} \frac{e^{ik_1 t_1}}{e^{-ik_2 t_1} - e^{ik_2 t_1}} + \frac{e^{ik_1 t_1}}{\gamma_2 e^{-ik_2 t_1} + e^{ik_2 t_1}}, \end{aligned} \quad (9)$$

同时，把多项式 γ_1 和 $M_1 = \gamma_1 N_1$ 带入方程组(8)的前两个方程中，消去 M_1 和 N_1 两个待定系数，可得该吸声结构的反射系数为

$$R_2 = \frac{\beta_1(\gamma_1 + 1) - (\gamma_1 - 1)}{\beta_1(\gamma_1 + 1) + (\gamma_1 - 1)} \quad (10)$$

若有 $R_2 = X_2 + Y_2 i$ ，则含空气背衬层的双层多孔材料结构的吸声系数可表示如下

$$\alpha_2 = 1 - |R_2|^2 = 1 - (X_2^2 + Y_2^2) \quad (11)$$

3 结果和讨论

含有空气背衬层的分层多孔材料吸声结构中，材料厚度、孔隙率、静流阻以及空气背衬层厚度等参数都会影响结构的吸声系数^[5,6,9]。为了研究这种结构的吸声性能，下面以含空气背衬层的双层泡沫

铝吸声结构为例进行分析。计算中泡沫铝的物理参数如表 1 所示，空气层的厚度为 $t_a = 1$ cm，结合上述吸声结构的吸声系数计算公式(10)和(11)，分别讨论各参数对含有空气背衬层的双层泡沫铝结构吸声特性的影响。为了和没有空气背衬层吸声结构作比较，讨论中引用了刘新金等没有空气背衬层结构吸声系数的结果^[3]。

表 1 各层泡沫铝的物理参数^[8]

Tab.1 The parameters of each Aluminum foam ^[8]					
分层	t/cm	$\sigma/(Ns \cdot m^{-3})$	$\theta/\%$	$\Lambda/\mu m$	$\Lambda'/\mu m$
介质 1	1	6 812	0.92	80	159
介质 2	1	8 524	0.75	76	136

3.1 分层材料孔隙率变化的影响

假设图 1 中介质 1 为外层泡沫铝，介质 2 为内层泡沫铝，图 2 给出了在其他参数不变情况下(见表 1)，外层和内层泡沫铝材料的孔隙率分别变化时，整个结构吸声系数随声波频率的变化规律，其中，红色曲线表示结构含有空气背衬层，黑色曲线表示没有空气背衬层^[3]。从图中可以看出，含有空气层背衬和没有空气层两种情况下，结构吸声系数呈现不同规律：对于含有空气层背衬的吸声结构，随着外(或内)层孔隙率的增加，在低频段($\leq 1\ 000$ Hz)，双层多孔材料吸声结构的吸声系数变化甚微；在中频段，吸声系数逐渐增加，且在该范围变化比较明显；在高

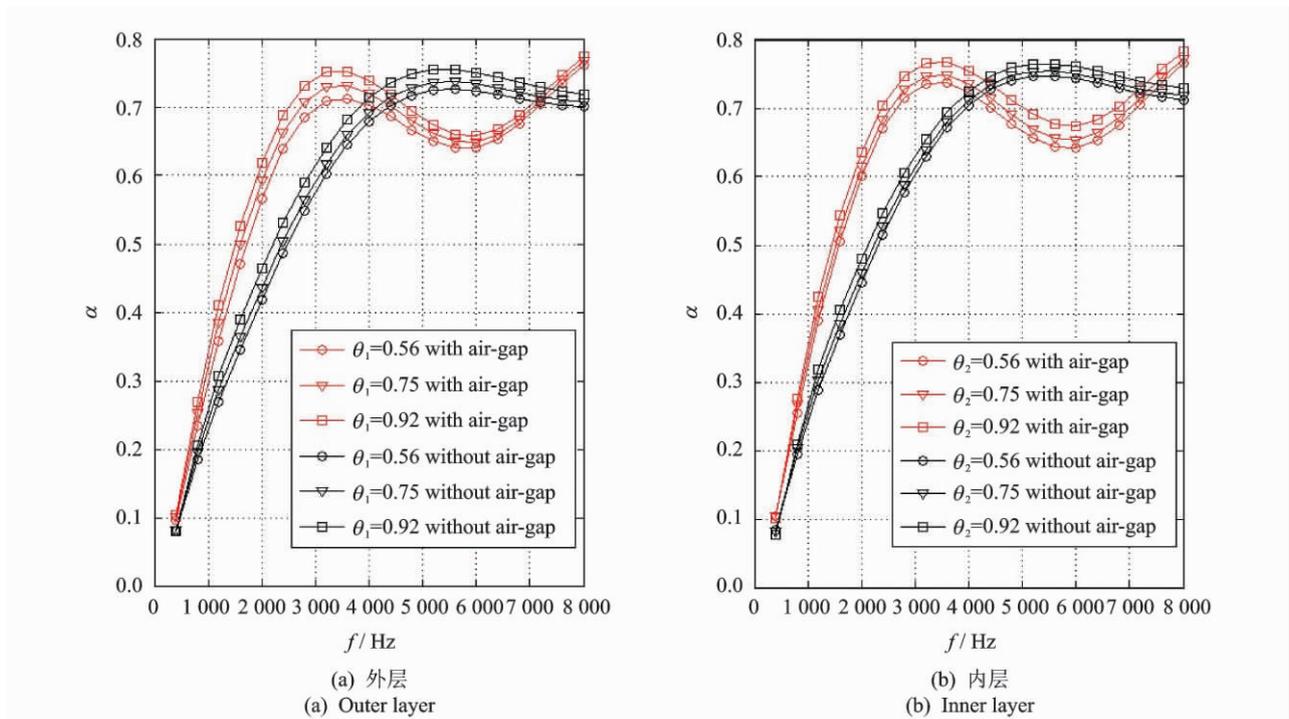


图 2 泡沫铝的孔隙率变化对结构吸声系数的影响

Fig.2 Effect of the porosity of each Aluminum foam on sound absorption coefficient

频段($\geq 7\ 000\ \text{Hz}$),吸声系数变化甚微;最高吸声系数出现在 $3\ 500\ \text{Hz}$ 频率位置,最低吸声系数出现在 $6\ 000\ \text{Hz}$ 频率位置。对于没有空气层背衬的吸声结构,随着外(或内)层孔隙率的增加,在低频段时双层多孔材料吸声结构吸声系数变化很小,在中高频段时,孔隙率变化对结构吸声系数影响较大,最高吸声系数出现在 $5\ 500\ \text{Hz}$ 频率位置,而最低吸声系数出现在更高频率段。由此可知,孔隙率增加,胞孔增多,内部通道复杂,产生更多的散射和碰撞,使能量损耗增加,吸声系数随之增加。比较而言,外层孔隙率变化影响比内层明显,此结果与文献[4]结论一致。

由图中还可看出,在 $4\ 200\ \text{Hz}$ 频率以下,含有空气背衬吸声结构的吸声系数明显高于没有空气层的吸声结构;在 $4\ 200$ 到 $7\ 200\ \text{Hz}$ 频率之间,没有空气层吸声结构的吸声系数则高出含有空气层的吸声结构;在 $7\ 200\ \text{Hz}$ 频率以上,两者结构吸声系数的差别有类似于低频情况。

3.2 分层材料厚度变化的影响

图 3 给出了在其他参数不变情况下,外层和内层泡沫铝材料的厚度变化对整个结构吸声系数的影响。随着外(或内)层泡沫铝厚度的增加,在低频段,双层吸声结构的吸声系数逐渐增加,含有空气背衬层吸声结构的吸声系数明显大于没有空气层的吸声结构,但随着厚度增大这种差别逐渐减小;最高吸声

系数随外(或内)层泡沫铝厚度的增加逐渐增加,但有向低频迁移的趋势;吸声频率曲线呈现多个波峰和波谷。这是由于随着外(或内)层泡沫铝厚度的增加,声波传播距离增加,相应反射的声波减少,根据公式(11)知吸声系数随之增加。由图中还可以看出,泡沫铝外层厚度变化对结构吸声系数影响明显大于内层厚度变化的影响;可见,在一定总厚度下,外层厚度大于内层厚度结构的吸声系数更高。

3.3 分层材料流阻率变化的影响

图 4 给出了在其他参数不变情况下,外层和内层泡沫铝材料的流阻率变化对整个结构吸声系数的影响。随着外(或内)层泡沫铝流阻率的增加,双层吸声结构的吸声系数逐渐增大,在低中频段,含有空气背衬层吸声结构的吸声系数明显大于没有空气背衬层的吸声结构,而在中频段($4\ 200\sim 7\ 200\ \text{Hz}$),没有空气背衬层的吸声结构则表现出更好的吸声效果。相对于内层泡沫铝流阻率变化的影响,外层流阻率变化对结构吸声系数影响稍大些;在一定总流阻率下,外层流阻率大于内层流阻率吸声结构的吸声系数更高,该结果与文献[12]结论相一致。

从图 2~4 可以发现,相对于内层材料参数的影响,外层材料参数的变化对整个结构吸声系数的影响更明显。主要原因是声波入射到外层材料时,外层材料先对大量声波进行吸收,剩余的声波才会随

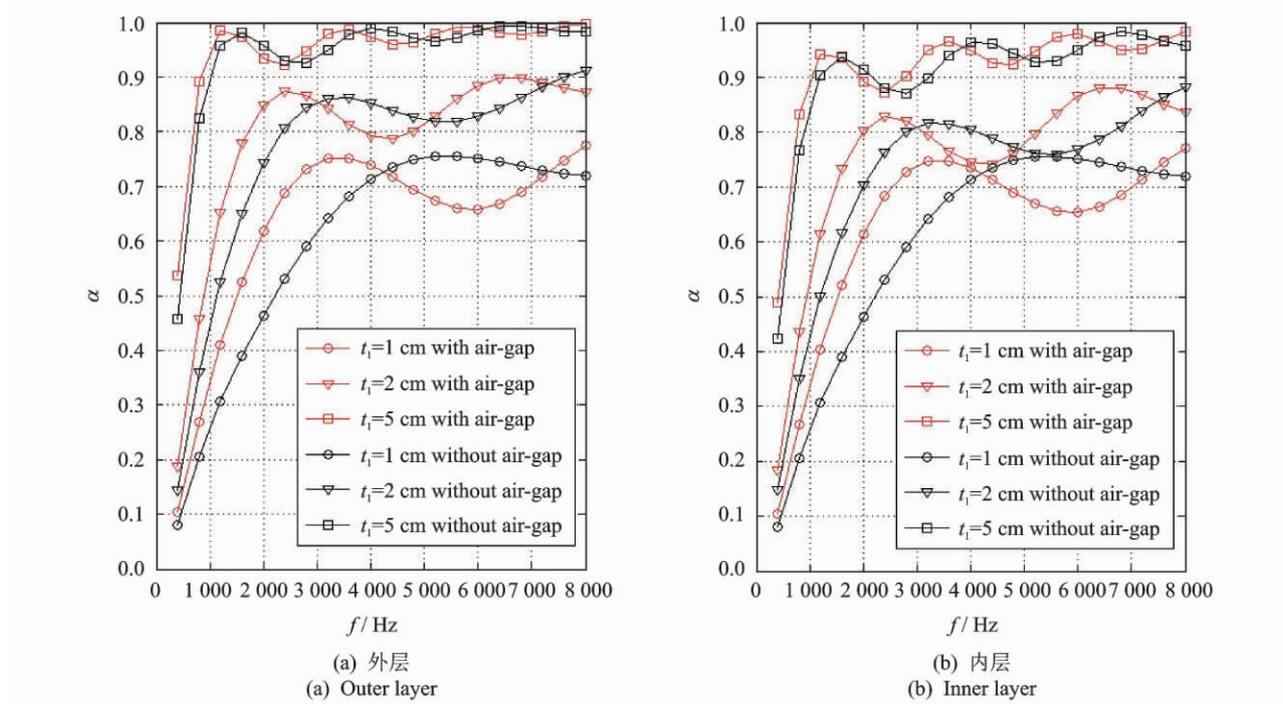


图 3 泡沫铝的厚度变化对结构吸声系数的影响

Fig.3 Effect of the thickness of each Aluminum foam on sound absorption coefficient

后传到内层材料被第二次吸收。其次,由图示还可以看出,在低频和高温范围内,带有空气背衬层结构的吸声系数较没有空气背衬层的略大,而中频范围内则相反。这一现象说明该梯度结构的组合方式,在低频范围各层多孔材料的吸声性能没有达到理想的互补作用。因此,应根据不同频率范围的吸声要

求,合理选择多层吸声结构。

3.4 空气背衬层厚度变化的影响

图 5 给出了在其他参数不变情况下,双层泡沫铝吸声结构空气背衬层厚度变化对整个结构在不同声波频段吸声系数的影响。随着吸声结构空气背衬

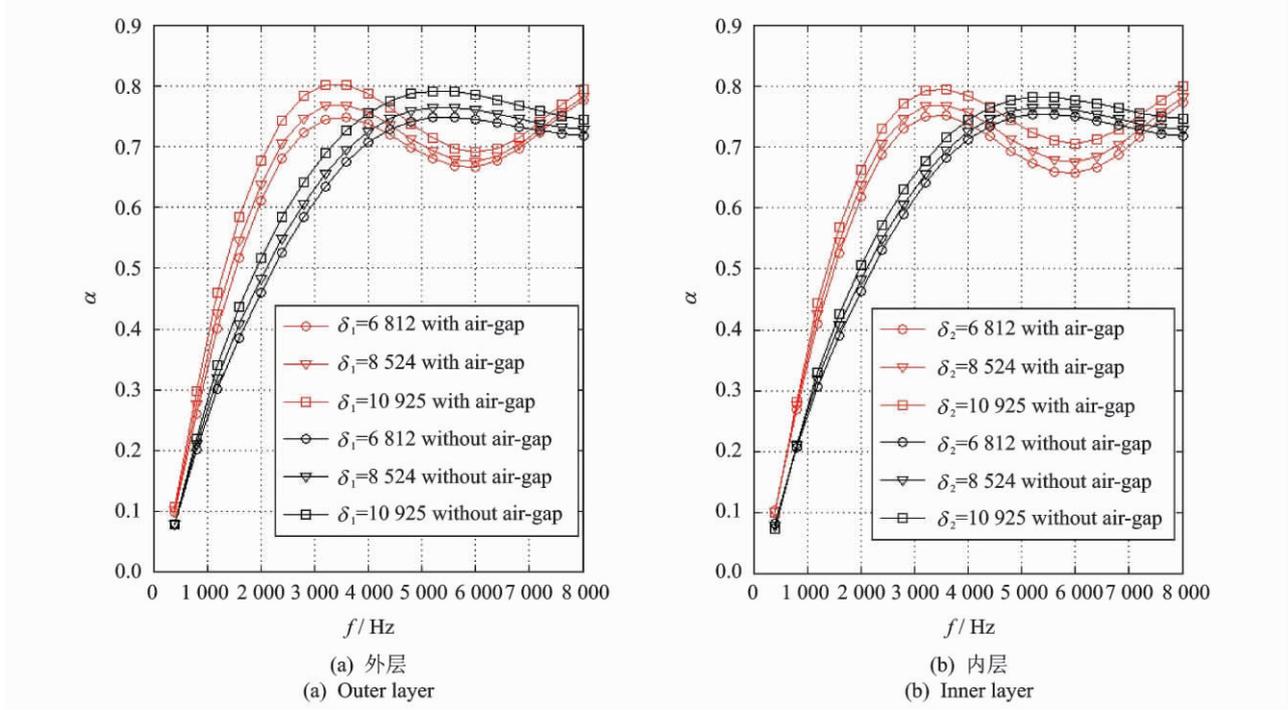


图 4 泡沫铝的流阻率变化对结构吸声系数的影响

Fig.4 Effect of the airflow resistivity of each Aluminum foam on sound absorption coefficient

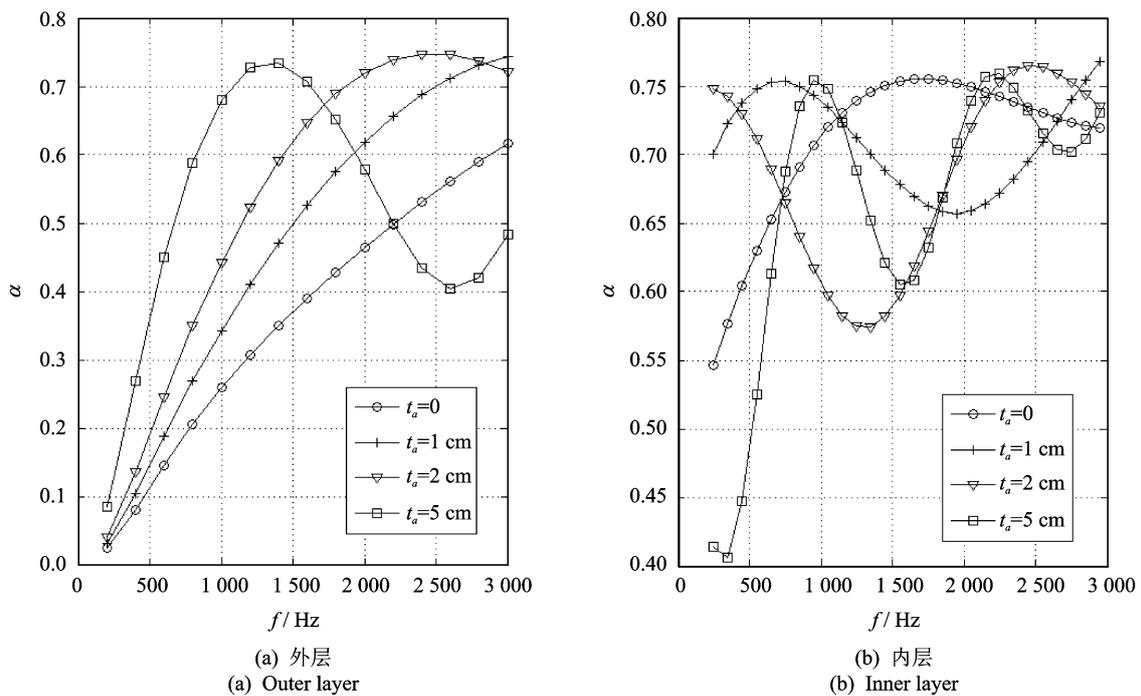


图 5 双层吸声结构空气背衬层厚度变化对吸声系数的影响

Fig.5 Effect of the thickness of backing an air gap on sound absorption coefficient

层厚度的增加,在低频段吸声系数逐渐变大,在高频段呈现波峰和波谷相交特征;最高吸声系数略有上升,但表现出向低频迁移的趋势。该结论与单层多孔材料空气背衬层吸声结构的结果是一致的^[5,6]。根据何琳等对增加吸声材料空气背衬层厚度的推导可知^[13],增加吸声材料背后空气层厚度相当于增加了吸声材料的表观厚度,这将造成最高吸声系数向低频迁移,这种做法比增加材料实际厚度付出的成本要小很多,因此可以通过给多孔材料添加空气背衬层达到提高结构低频吸声性能的目的。

由以上分析可知,对于含有空气背衬层的双层泡沫铝吸声结构,各物理参数的变化造成结构在各频段上吸声系数的差异,可作如下解释:低频声波的波长较长,能量较小,碰到孔隙壁时发生反射、折射,若是弹性碰撞则能量损失小,声吸收系数低;高频声波的能量较大,进入多孔金属后与孔壁发生碰撞,因振动幅值大,故有可能发生非弹性碰撞,能量损耗大,加之反射或折射后的声波仍具有较高能量,可与孔隙壁发生二次或多次非弹性碰撞,经过多次反射、折射之后,原有入射声波的大部分能量变成热能散失到环境中。因此,可以根据不同场合对各频段的吸声指标要求,确定各层材料的设计参数,使得吸声结构在某频段上达到满意的吸声效果。

4 结 论

本文利用多孔材料的 Johnson-Allard 模型和波动学理论,推导了含有空气背衬层的双层多孔材料吸声结构吸声系数的计算公式,通过数值方法深入研究了各层泡沫铝物理参数及空气背衬层厚度等对双层泡沫铝结构吸声性能的影响规律。计算结果表明:随着各层孔隙率增加、或厚度增加、或流阻率增加,含有空气背衬层双层泡沫铝结构的吸声系数逐渐增大;在低频段增加空气背衬层厚度,结构吸声系数增大,且最高吸声系数表现出向低频迁移趋势;在中频段,当增加各层泡沫铝的孔隙率或流阻率时,没有空气背衬层的双层泡沫铝结构呈现出更好的吸声性能。

参考文献:

[1] Chen W H, Lee F C, Chiang D M. On the acoustic absorption of porous materials with different surface shapes and perforated plates[J]. Journal of Sound and

Vibration, 2000,237(2):337—355.

- [2] Sgard F C, Olney X, Atalla N, et al. On the use of perforations to improve the sound absorption of porous materials[J]. Applied Acoustics, 2005,66:625—651.
- [3] 刘新金,刘建立,徐伯俊,等.分层多孔材料吸声结构的性能分析[J].振动与冲击,2012,31(5):107—117.
- Liu X J, Liu J L, Xu B J, et al. Acoustical analysis for a sound-absorbing structure with multi-layered porous material[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012,31(5):107—117.
- [4] 汤慧萍,朱纪磊,葛州,等.纤维多孔材料梯度结构的吸声性能研究[J].稀有金属材料与工程,2007,36(12):2 220—2 223.
- Tang H P, Zhu J L, Ge Y, et al. Sound absorbing characteristics of fibrous porous materials gradient structure[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2007,36(12):2 220—2 223.
- [5] Li Y J, Wang X F, Han F S, et al. Sound absorption characteristics of aluminum foam with spherical cells [J]. Journal of Applied Physics, 2011,110,113525: 1—7.
- [6] Huang K, Yang D H, He D P. Acoustic absorption properties of open-cell Al alloy foams with graded pore size[J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2011, 4,365405:1—5.
- [7] Hakamada M, Kuromura T, Chen Y Q, et al. High sound absorption of porous aluminum fabricated by spacer method[J]. Applied Physics Letters, 2006,88, 254106:1—6.
- [8] Allard J F, Atalla N. Propagation of Sound in Porous Media-Modeling Sound Absorbing Materials[M]. 2nd ed. America: Wiley Press, 2009.
- [9] Duan C Y, Cui G, Xu X B, et al. Sound absorption characteristics of a high-temperature sintering porous ceramic material [J]. Applied Acoustics, 2012, 73: 865—871.
- [10] Lu T J, Hess A, Ashby M F. Sound absorption in metallic foams [J]. Journal of Applied Physics, 1999,85(11):7 528—7 539.
- [11] Lu T J, Chen F, He D P. Sound absorption of cellular metals with semi-open cells[J]. Journal of the Acoustical Society of America, 2000,108(4):1 697—1 709.
- [12] 武国启,敖宏瑞,姜洪源.金属橡胶材料双层结构吸声特性研究[J].振动与冲击,2010,29(7):99—104.
- Wu G Q, Ao H R, Jiang H Y. Sound absorption characteristics of a double-layer structure with metal-rubber material[J].Journal of Vibration and Shock, 2010,

29(7):99—104.

[13] 何琳,朱海潮,邱小军,等.声学理论与工程应用[M].北京:科学出版社,2006.

He L, Zhu H C, Qiu X J, et al. Acoustic Theory and Engineering Application[M]. Beijing: Science Press, 2006.

Study on sound absorption properties of multilayer porous material structure backed with an air gap

NING Jing-feng, ZHAO Gui-ping, MU Lin, LU Tian-jian

(State Key Laboratory of Strength and Vibration, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Based on the transmission equation of acoustic wave in a layered media, the absorption coefficient of the multilayer porous material backed with an air gap is calculated. Taking a double-layer Aluminum foam backed with an air gap for an example, the effect of acoustic parameters of each layer and thickness of air gap on the absorption coefficient is analyzed. The results show that the absorption coefficient of the sound absorption structure with an air gap gradually increases with the increase of porosity, thickness, and flow resistivity of each porous material respectively. At low frequency, increasing the thickness of air gap will lead to the increase of the absorption coefficient, and the maximum absorption coefficient shifts towards lower frequencies. At intermediate frequency, the sound absorption structure without the air gap shows a better sound absorption property when the porosity or flow resistivity are increased. Therefore, the sound absorption level can be achieved in a wider frequency range through the adjustment of material parameters of each layer.

Key words: absorption; air gap; multilayer porous material; Aluminum foam

作者简介:宁景锋(1984—),男,博士研究生。电话:(029)82665439;E-mail:ningjingf@sina.com