

微纳结合的主被动混合吸声结构及其控制方法

申请号：[201110216989.6](#)

申请日：2011-07-29

申请(专利权)人 [中国科学院合肥物质科学研究院](#)

地址 [230031 安徽省合肥市蜀山区蜀山湖路350号](#)

发明(设计)人 [段秀华](#) [王焕钦](#) [陈然](#) [孔德义](#) [尤晖](#) [孙文娟](#) [高理升](#) [陈池来](#)
[钱玉洁](#) [刘友江](#)

主分类号 [G10K11/16\(2006.01\)I](#)

分类号 [G10K11/16\(2006.01\)I](#) [G10K11/178\(2006.01\)I](#)
[G10K11/02\(2006.01\)I](#)

公开(公告)号 [102426832A](#)

公开(公告)日 [2012-04-25](#)

专利代理机构 [安徽省合肥新安专利代理有限责任公司](#) [34101](#)

代理人 [何梅生](#)



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102426832 A

(43) 申请公布日 2012. 04. 25

(21) 申请号 201110216989. 6

(22) 申请日 2011. 07. 29

(71) 申请人 中国科学院合肥物质科学研究院
地址 230031 安徽省合肥市蜀山区蜀山湖路
350 号

(72) 发明人 段秀华 王焕钦 陈然 孔德义
尤晖 孙文娟 高理升 陈池来
钱玉洁 刘友江

(74) 专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有
限责任公司 34101
代理人 何梅生

(51) Int. Cl.

G10K 11/16 (2006. 01)

G10K 11/178 (2006. 01)

G10K 11/02 (2006. 01)

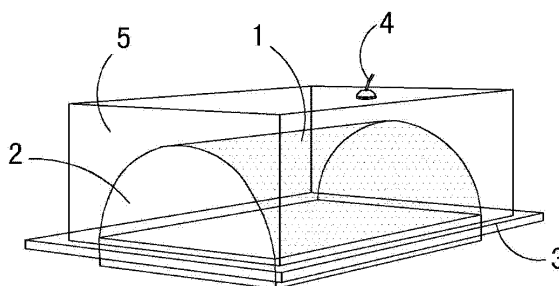
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

(54) 发明名称

微纳结合的主被动混合吸声结构及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种微纳结合的主被动混合吸声结构及其控制方法,其特征是在多孔吸声材料中均匀地填充纳米管,构成被动吸声结构,所述被动吸声结构的正面平面暴露在垂直入射的声波中,背面为椭圆面;在所述被动吸声结构的背面椭圆面上附着一层厚度为微米量级的压电薄膜构成混合式吸声结构的主动控制执行器件。本发明通过将主动噪声控制与改善后的吸声材料结合成特定的混合吸声结构,使得有效吸声频带大幅扩展,吸声结构体积明显减小,主动控制电压得到降低,控制效果更好。



1. 微纳结合的主被动混合吸声结构,其特征是:在多孔吸声材料中均匀地填充纳米管,构成被动吸声结构(2),所述被动吸声结构(2)的正面平面暴露在垂直入射的声波中,背面为椭圆面;在所述被动吸声结构(2)的背面椭圆面上附着一层厚度为微米量级的压电薄膜(1)构成混合式吸声结构的主动控制执行器件。

2. 微纳结合的主被动混合吸声结构的控制方法,其特征是:

a、在多孔吸声材料中均匀地填充纳米管,构成被动吸声结构(2),所述被动吸声结构(2)的正面暴露在垂直入射的声波中,背面为椭圆面;在被动吸声结构(2)的背面附着一层厚度为微米量级的压电薄膜(1)构成混合式吸声结构的主动控制执行器件;

b、采用基于阻抗匹配的控制方法控制压电薄膜执行器实现主动噪声控制;

c、所述主动噪声控制的控制目标是找出所需的压电薄膜执行器的控制电压,使通过被动吸声材料反射的声波最小;

d、为达到所述控制目标,运用基于神经网络的自适应控制算法产生所需的控制电压;

e、所述控制电压通过驱动电路驱动附着在被动吸声结构背面的压电薄膜产生期望的位移,使多孔吸声材料背面的声阻抗等于空气的特征阻抗,从而减少吸声材料正面的反射声波。

微纳结合的主被动混合吸声结构及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种主被动混合吸声系统,提出了一种基于阻抗匹配法的主被动混合吸声结构。通过噪声的主动控制和传统多孔吸声材料被动吸声的结合,能够在较宽的频率范围内获得很好的吸声效果,同时由于运用微纳结合,有效地减小了吸声结构的体积。

背景技术

[0002] 噪声是除了空气污染和水污染之外,危害环境的第三大污染源。随着现代科学技术的发展和社会前进步伐的加快,机械加工、交通运输等的高速发展给社会带来方便的同时,辐射的噪声也带来了危害。研究和控制噪声既是保护环境的迫切需要,也是提高工业产品质量、减小能源损耗所必须解决的问题。

[0003] 利用吸声材料进行被动吸声是目前常用的降低噪声的方法。目前已有有很多种吸声材料,包括:泡沫和纤维等多孔材料、穿孔板和微穿孔板等共振吸声结构,以及经过改进的特定吸声结构,如:吸声尖劈、不规则形状的微穿孔板等。其中多孔材料对中高频的噪声具有很好的吸声性能,但对低频噪声的吸声效果很差。

[0004] 要改善被动吸声材料低频的吸声性能,需要增加材料的厚度。厚度增加导致吸声结构的体积增大,不便于实际应用;同时,由于吸声材料流阻的制约,光靠增加吸声材料的厚度并不能使吸声频带无限制地向低频延伸。纳米技术的发展,促使人们想到是否能应用纳米技术来改善多孔材料自身的吸声性能,M. Bandarrian 等人通过在多孔材料中填充不同类型的纳米管进行了实验研究(M. Bandarrian, A. Shijaei and A. Morad Rashidi, Thermal mechanical and acoustic damping properties of flexible open-cell polyurethane/multi-walled carbon nanotube foam: effect of surface functionality of nanotubes, 2010 society of chemical industry),发现在多孔材料中均匀地填充少量的纳米管后,确实显著提高了材料的吸声性能。尤其是对中高频入射声波,多孔吸声材料的吸声性能有很大提高,但是这种方法对材料低频的吸声性能没有明显改善。所以,单纯地依靠吸声材料被动吸声,在实际应用中,并不能达到很好的吸声效果。

[0005] 因此,对噪声的主动控制引起了人们的关注。主动噪声控制的原理是通过引入次级声源来抵消反射噪声,从而达到吸声降噪的目的。控制的方法主要有前馈控制和反馈控制两种。随着电子技术和信号处理技术的发展,主动噪声控制的基础理论已经成熟。由神经网络技术的发展而来的自适应前馈控制和反馈控制是目前普遍应用的控制方法,并且运用这两种控制方法得到了很好的控制效果。自适应控制算法,例如经典的滤波-最小均方值算法(FXLMS)、滤波-U 递推二乘(FULMS)算法等,广泛地应用于主动噪声控制中,提高了控制的准确性和快速性。但是,纯粹的主动噪声控制降低低频噪声的效果很好,对中高频的噪声,由于控制溢出使得控制效果很差。因此,主动噪声控制的应用仍然受到频带的限制。

[0006] 为了更切合实际的应用,发展主被动相结合的吸声结构对于扩大吸声频率范围并降低吸声结构的尺寸有重大的意义。因此,主被动混合吸声成为了近年来主动噪声控制发展的热点。常用的混合吸声结构的控制方法主要有:释压法(Pedro. Cobo and

J. Dfertzschner, Hybridpassive-active absorption using microperforated panels, Journal of Acoustical society of America(2004), vol 116, NO. 4, 2118-2125) 和阻抗匹配法 (Pierre Leroy and Alain Berry, Experimental study of a smart foam sound absorber, Journal of Acoustical society of America(2011))。

[0007] Pierre Leroy 等人研究了将传统的多孔吸声材料泡沫 (foam) 和 PVDF 压电薄膜控制相结合组成的泡沫 - 压电薄膜 (foam-PVDF) 主被动混合吸声结构, 并将其称为智能泡沫 (SmartFoam)。该主被动吸声系统在单频、多频的平面波噪声入射下, 达到了完美的吸声效果, 吸声系数接近于 1.0。但是, 在白噪声的干扰下, 主动控制的效果受到了限制。该系统的缺点是:

[0008] 1、由于智能泡沫几何结构的非线性, 增加了主动噪声控制的复杂度, 降低了噪声的控制的精度。

[0009] 2、频率在 100Hz 以下, 压电薄膜的控制电压在 100V 以上, 从而导致系统工作时, 压电薄膜面内和面外的位移不是严格相等, 导致了系统的非线性, 影响了主动噪声控制的效果。

发明内容

[0010] 本发明是为避免上述现有技术所存在的不足之处, 提供一种微纳结合的主被动混合吸声结构及其控制方法, 以期通过将主动噪声控制与改善后的吸声材料结合成特定的混合吸声结构, 使得有效吸声频带大幅扩展, 吸声结构体积明显减小, 同时也通过对被动吸声材料自身性能的提高, 使得与智能泡沫结构相比, 主动控制电压得到降低, 减少吸声结构的非线性, 使主动控制更为简单, 控制效果更好。

[0011] 本发明解决技术问题采用如下技术方案:

[0012] 本发明微纳结合的主被动混合吸声结构的特点是: 在多孔吸声材料中均匀地填充纳米管, 构成被动吸声结构, 所述被动吸声结构的正面平面暴露在垂直入射的声波中, 背面为椭圆面; 在所述被动吸声结构的背面椭圆面上附着一层厚度为微米量级的压电薄膜构成混合式吸声结构的主动控制执行器件。

[0013] 本发明微纳结合的主被动混合吸声结构的控制方法的特点是:

[0014] a、在多孔吸声材料中均匀地填充纳米管, 构成被动吸声结构, 所述被动吸声结构的正面暴露在垂直入射的声波中, 背面为椭圆面; 在被动吸声结构的背面附着一层厚度为微米量级的压电薄膜构成混合式吸声结构的主动控制执行器件;

[0015] b、采用基于阻抗匹配的控制方法控制压电薄膜执行器实现主动噪声控制;

[0016] c、所述主动噪声控制的控制目标是找出所需的压电薄膜执行器的控制电压, 使通过被动吸声材料反射的声波最小;

[0017] d、为达到所述控制目标, 运用基于神经网络的自适应控制算法产生所需的控制电压;

[0018] e、所述控制电压通过驱动电路驱动附着在被动吸声结构背面的压电薄膜产生期望的位移, 使多孔吸声材料背面的声阻抗等于空气的特征阻抗, 从而减少吸声材料正面的反射声波。

[0019] 与已有技术相比, 本发明有益效果体现在:

[0020] 1、本发明通过噪声的主动控制和多孔吸声材料被动吸声的结合,能够在较宽的频率范围内获得很好的吸声效果,同时由于运用微纳结合,有效地减小了吸声结构的体积。

[0021] 2、与填充了纳米管的传统多孔吸声材料相比,本发明吸声结构在低频噪声入射条件下也能达到很好的吸声效果;

[0022] 3、与智能泡沫相比,由于吸声材料经过纳米处理后,自身吸声性能得到很大提高,从而主动控制电压降低,吸声结构的非线性减小,整个控制系统的线性度增加,使控制简单、控制效果更好。

附图说明

[0023] 图1为本发明结构示意图;

[0024] 图2为本发明被动吸声结构的截面图;

[0025] 图3为针对本发明混合式吸声结构利用阻抗匹配法进行实验的原理示意图;

[0026] 图中标号:1 压电薄膜;2 被动吸声结构;3 有机玻璃法兰;4 电路引线端;5 背腔;21 阻抗管;22 初级声源扬声器;23 传声器;24 混合式吸声结构;25 误差传声器;26 信号发生器;27 自适应控制器。

具体实施方式

[0027] 参见图1、图2,本实施例中微纳结合的主被动混合吸声结构是在多孔吸声材料中均匀地填充纳米管,构成被动吸声结构2,被动吸声结构2的正面平面暴露在垂直入射的声波中,背面为椭圆面;在被动吸声结构2的背面椭圆面上附着一层厚度为微米量级的压电薄膜1构成混合式吸声结构的主动控制执行器件;

[0028] 图1中有机玻璃法兰3放置在被动吸声结构2没有覆盖压电薄膜的面上,以保证背腔5的气密性,同时在实验中起到和阻抗管连接的作用;背腔5用来封装整个吸声结构装置,防止声泄漏,同时通过电路引线端4和外面的驱动电路进行连接,压电薄膜1和背腔5构成混合式吸声结构的主动控制单元。

[0029] 针对以上微纳结合的主被动混合吸声结构,本实施例设置微纳结合的主被动混合吸声结构的控制方法是:

[0030] 1、采用基于阻抗匹配的控制方法控制压电薄膜执行器实现主动噪声控制;

[0031] 2、主动噪声控制的控制目标是找出所需的压电薄膜执行器的控制电压,使通过被动吸声材料反射的声波最小;

[0032] 3、为达到所述控制目标,运用基于神经网络的自适应控制算法产生所需的控制电压;

[0033] 4、所述控制电压通过驱动电路驱动附着在被动吸声结构背面的压电薄膜产生期望的位移,使多孔吸声材料背面的声阻抗等于空气的特征阻抗,从而减少吸声材料正面的反射声波。

[0034] 参见图3,整个实验在阻抗管21中进行,阻抗管21的左端安装初级声源扬声器22,靠近初级声源扬声器22的一端装了一个传声器23用来检测初级扬声器表面的声压;在阻抗管21的右端安装了本实施例中的混合式吸声结构24,混合吸声结构24的前端是误差传声器25,它是一个不定向的麦克风,可以实现0-180度的声压探测;在阻抗管21的左端

是信号发生器 26, 信号发生器 26 的一个输出端和初级声源扬声器 22 连接, 另一个输出端与自适应控制器 27 连接; 整个实验装置构成了一个反馈控制系统。

[0035] 实验的工作过程和工作原理: 信号发生器产生初级噪声信号传递给初级声源扬声器, 初级声源扬声器在阻抗管中输出噪声信号; 噪声在阻抗管中近似以平面波的形式传播, 并垂直入射到混合吸声结构的表面; 靠近混合吸声结构表面的误差传声器同时接收到两个声压信号: 一个是噪声通过阻抗管传播的声波的声压信号, 另一个是噪声通过混合吸声结构表面反射回来的声波的声压信号; 误差传声器将这两个信号传递给自适应控制器, 同时信号发生器产生的噪声信号作为基准信号也传递给了自适应控制器; 自适应控制器通过自适应算法产生控制信号通过驱动电路元件传递给混合吸声结构的主动控制执行器件压电薄膜; 由于压电效应压电薄膜产生形变已达到期望的位移, 促使混合吸声结构的声阻抗与阻抗管中的空气的特征阻抗相等 (即阻抗匹配), 致使噪声入射到混合吸声结构表面后不再反射, 被混合吸声结构完全吸收, 形成“黑洞”现象。

[0036] 针对这一具体实验, 该微纳结合的主被动混合吸声结构中:

[0037] 1、被动吸声结构背面呈椭圆面; 正面为平面, 暴露在垂直入射的声波中。

[0038] 2、多孔吸声材料选用聚氨酯泡沫或者三聚氰胺泡沫等, 通过溶液共混法或者原位聚合法将少量 (比如质量比为 0.1%) 的纳米管 (比如碳纳米管 CNT) 填充到多孔吸声材料中; 如果填充的纳米管能经过表面功能修饰, 比如含羧基官能团的碳纳米管 (CNT-COOH)、含羟基官能团的碳纳米管 (CNT-OH) 或含胺基功能团的碳纳米管 (CNT-NH) 等, 最终得到的被动结构的吸声效果将会更好。

[0039] 含羧基官能团的碳纳米管 (CNT-COOH) 的表面修饰过程是: 将碳纳米管置于体积比为 3:1 的硫酸和硝酸混合液中, 通过超声分散及后续的水洗处理得到含羧基官能团的碳纳米管 (CNT-COOH)。

[0040] 含胺基的碳纳米管 (CNT-NH) 的表面修饰过程是: 将 20mg 的 CNT-COOH 与 10ml 的乙二胺和 1mg 的偶联剂混合后经过超声处理即可得到含胺基的碳纳米管 (CNT-NH)。

[0041] 含羟基的碳纳米管 (CNT-OH) 的表面修饰过程是: 将多壁碳纳米管置于去离子水中, 经过超声处理后, 再置于 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 和 H_2O_2 的混合液中经过超声处理约 20 分钟, 最后得到含羟基的碳纳米管 (CNT-OH)。

[0042] 3、主动控制的执行器可选用 PVDF 压电薄膜, 薄膜厚度为 20 微米, 该 PVDF 压电薄膜材料厚度的选择应该以不影响被动材料的吸声性能为前提。同时, 因为压电薄膜需要较高的电压激励, 一般不低于 50V, 所以最好选用具有耐高压特性的银镀压电薄膜, 其表面包含有 Cu-Ni 电极, 并通过放大器来激励压电薄膜。

[0043] 4、主动噪声控制器通过自适应控制算法来产生控制信号。可选用经典的 FXLMS 算法, 假设在自适应控制器中, 采用有限脉冲响应滤波器 (FIR) 来实现该控制算法, 其基本原理如下:

[0044] 误差传感器在第 n 时刻接收到的误差信号表达式为: $e(n) = d(n) + W^T R(n)$, 其中 $d(n)$ 是第 n 时刻初级噪声源信号, 实验中由信号发生器产生, 可以是单频或宽频的信号, 同时该信号作为自适应控制器的基准信号; $W = [w_0 \dots w_{J-1}]^T$ 是自适应控制器中有限脉冲响应滤波器 (FIR) 的权矢量系数, J 为滤波器的长度; $R(n) = X(n) * H_s(n)$, 它表示第 n 时刻滤波 -X 信号; $X(n) = [x(n) \dots x(n-J+1)]$ 是基准信号 $X(n)$ 前 J 个信号分量构成的矢量; $H_s(n)$

表示自适应控制器中次级通路的脉冲响应;根据权矢量迭代公式: $W(n+1) = W(n) - 2\mu e(n)X(n)$, μ 是自适应控制算法的收敛系数,通过迭代计算使误差传感器所接收的误差信号 $e(n)$ 的均方值 (LMS) 最小。

[0045] 5、控制信号通过电路元件 (如放大器) 驱动压电薄膜产生期望的位移,使混合吸声结构的声阻抗和阻抗管中空气的特征阻抗相等,从而减少吸声材料正面的反射声波 (即阻抗匹配法)。阻抗匹配控制方法的基本原理是:假设,噪声以 θ_1 角入射在被动吸声材料表面的条件下:

[0046] 声波的反射系数 $R = \frac{p_r}{p_i} = \frac{\left(\frac{\rho_1 c_1}{\cos \theta_2} - \frac{\rho_0 c_0}{\cos \theta_1}\right)}{\left(\frac{\rho_1 c_1}{\cos \theta_2} + \frac{\rho_0 c_0}{\cos \theta_1}\right)}$ 其中 p_i 和 p_r 分别代表入射声压和反射声

压, θ_1 和 θ_2 分别表示入射角和反射角, $\rho_0 c_0$ 是空气的特征阻抗, $\rho_1 c_1$ 表示吸声材料背面的特征阻抗。通过反射系数的表达式可以看出:当 $\theta_1 \approx 0$ 时 (垂直入射的条件下), 此时, $\theta_2 \approx 0$; 声波的反射系数 $R \approx \frac{\rho_1 c_1 - \rho_0 c_0}{\rho_1 c_1 + \rho_0 c_0}$, 从而当 $\rho_0 c_0 \approx \rho_1 c_1$ (即达到阻抗匹配) 时, 声波的反射系数 $R \approx 0$, 声波没有反射而全部透射到吸声材料中, 从而达到了吸声降噪的效果。

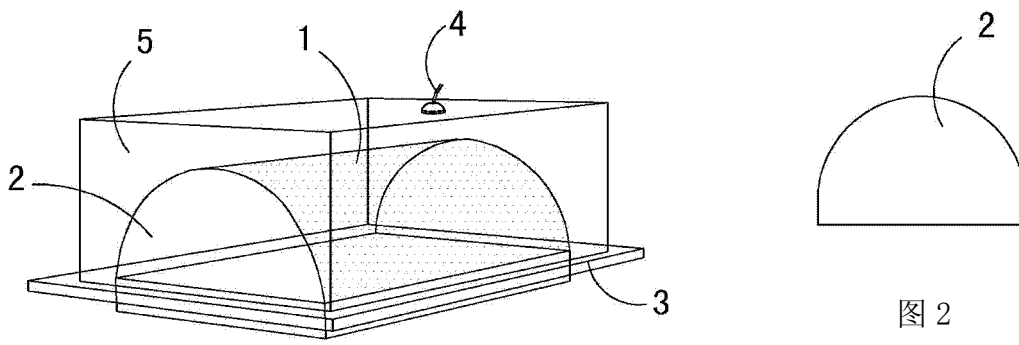


图 1

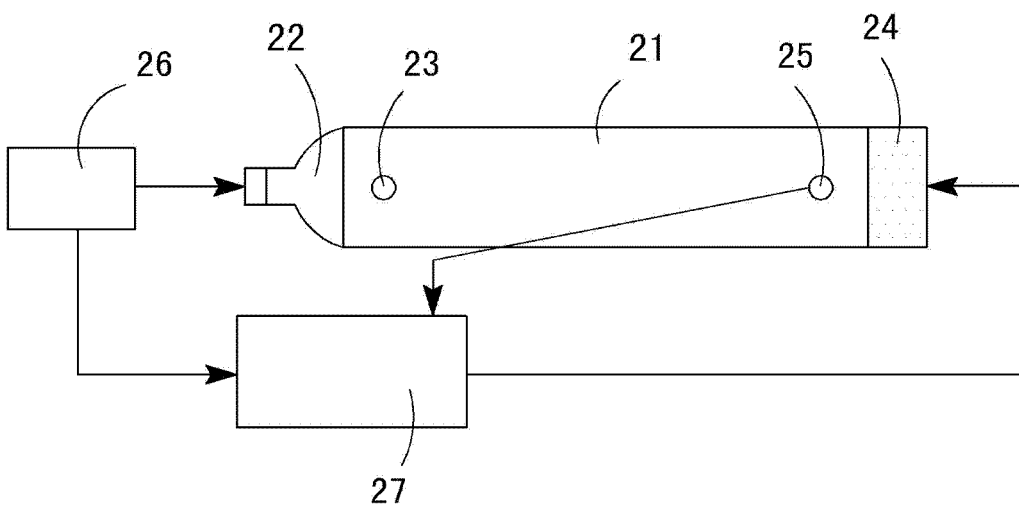


图 3