



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111696509 B

(45) 授权公告日 2023. 03. 31

(21) 申请号 202010486474.7

G10K 11/162 (2006.01)

(22) 申请日 2020.06.01

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111696509 A

CN 101334993 A, 2008.12.31  
CN 103753744 A, 2014.04.30  
CN 109138196 A, 2019.01.04  
RU 2540991 C1, 2015.02.10

(43) 申请公布日 2020.09.22

(73) 专利权人 西安交通大学  
地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号  
专利权人 南京航空航天大学

李海涛等. 多孔性吸声材料的研究进展. 《材料科学与工程学报》. 2004, (第06期),

审查员 陈贵阳

(72) 发明人 辛锋先 卢天健 于晨磊 段明宇  
刘学伟

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任  
公司 61200  
专利代理师 高博

(51) Int. Cl.

G10K 11/172 (2006.01)

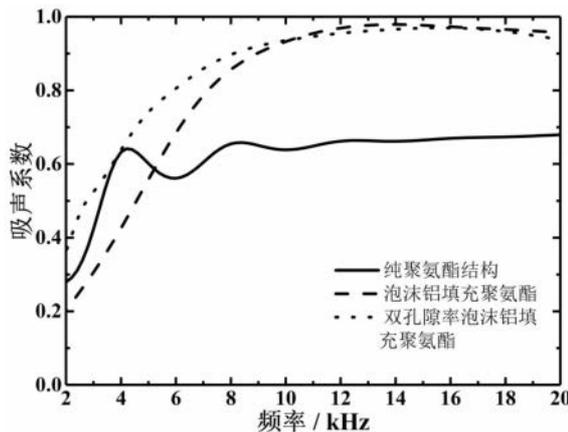
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

## (54) 发明名称

一种阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构

## (57) 摘要

本发明公开了一种阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构,包括开孔泡沫金属骨架,开孔泡沫金属骨架的上表面和下表面分别设置有硬阻尼材料覆盖层,开孔泡沫金属骨架与硬阻尼材料覆盖层构成密封结构,密封结构内部周期性开有多个孔洞形成空腔,空腔内填充有软阻尼材料。本发明具有优异的力学性能以及良好的水下吸声性能,在设计方面具有更多的可调参数,包括结构参数以及材料参数,可根据实际工况需求进行相应调节,结构简单,易于制造。



1. 一种阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构,其特征在于,包括开孔泡沫金属骨架(1),开孔泡沫金属骨架(1)的厚度为30~50mm,开孔泡沫金属骨架(1)的孔隙率为70%~90%,孔隙孔径为0.8~2mm,开孔泡沫金属骨架(1)的上表面和下表面分别设置有硬阻尼材料覆盖层(3),硬阻尼材料覆盖层(3)的杨氏模量为30~100MPa,厚度为1~3mm,开孔泡沫金属骨架(1)与硬阻尼材料覆盖层(3)构成密封结构,密封结构内部周期性开有多个孔洞形成空腔(4),空腔(4)的孔径为15~30mm,空腔(4)内填充有软阻尼材料(2),软阻尼材料(2)的杨氏模量为2~10MPa,损耗因子大于等于0.3,吸声结构的吸声频率为2~20kHz,平均吸声系数大于等于0.8。

2. 根据权利要求1所述的阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构,其特征在于,空腔(4)的孔洞直径大于开孔泡沫金属骨架(1)的泡沫金属孔径,空腔(4)的高度与开孔泡沫金属骨架(1)的厚度相同。

3. 根据权利要求1所述的阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构,其特征在于,空腔(4)的形状为圆柱体型、锥型、球型、椭球型或喇叭型中的一种或多种。

## 一种阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构

### 技术领域

[0001] 本发明属于水下吸声复合结构技术领域,具体涉及一种阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构。

### 背景技术

[0002] 随着人类对海洋探测的不断深入,各种水下机械设备不断涌现,振动与噪声对设备的寿命以及仪器的精度都会产生很大的影响,水下吸声降噪问题日益成为一个复杂而又迫切需要解决的问题。目前的水下吸声降噪技术大都采用高分子阻尼材料,如橡胶,聚氨酯等。这些材料在水下应用时能起到一定的吸声降噪效果,但同时存在一些缺陷:随着水深的不断增加,压力的增大会使其失去弹性,进而失去吸收振动与噪音的功能。此外,由于吸声机理的限制,此类材料不能在低频实现较好的吸声性能。故通过结构的设计实现具有承压能力以及较好的低频吸声性能的水下吸声结构具有重要的工程应用前景。

### 发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题在于针对上述现有技术中的不足,提供一种阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构,以通孔泡沫金属为基、向其孔洞中填充阻尼材料,得到金属与阻尼材料的交织复合体,即泡沫金属—阻尼材料复合材料,既有较高的阻尼性能,又有良好力学性能的功能结构一体化材料。

[0004] 本发明采用以下技术方案:

[0005] 一种阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构,包括开孔泡沫金属骨架,开孔泡沫金属骨架的孔隙率为70%~90%,孔隙孔径为0.8~2mm,开孔泡沫金属骨架的上表面和下表面分别设置有硬阻尼材料覆盖层,开孔泡沫金属骨架与硬阻尼材料覆盖层构成密封结构,密封结构内部周期性开有多个孔洞形成空腔,空腔内填充有软阻尼材料。

[0006] 具体的,空腔的孔洞直径大于开孔泡沫金属骨架的泡沫金属孔径,空腔的高度与开孔泡沫金属骨架的厚度相同。

[0007] 具体的,空腔的形状为圆柱体型、锥型、球型、椭球型或喇叭型中的一种或多种。

[0008] 进一步的,空腔的孔径为15~30mm。

[0009] 具体的,开孔泡沫金属骨架1的厚度为30~50mm。

[0010] 具体的,开孔泡沫金属骨架由铁,铜或铝材料发泡制得。

[0011] 具体的,软阻尼材料的杨氏模量为2~10MPa,损耗因子大于等于0.3。

[0012] 具体的,硬阻尼材料覆盖层的杨氏模量为30~100MPa,厚度为1~3mm。

[0013] 进一步的,吸声结构的吸声频率为2~20kHz,平均吸声系数大于等于0.8。

[0014] 与现有技术相比,本发明至少具有以下有益效果:

[0015] 本发明一种阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构,首先在开孔泡沫金属上钻不同的孔,然后在其中填充阻尼材料,通过泡沫金属骨架与阻尼材料之间不同步的振动来损耗能量达到提高吸声性能的效果。由于大小不同孔的存在,拓宽了结构的吸声范

围。并且由于泡沫金属骨架的存在,使结构具有一定的承载能力,提高了结构的吸声性能和耐水压性能。

[0016] 进一步的,在泡沫金属中打孔的形状可以是圆柱形、圆锥形或喇叭形,孔的直径以圆柱形孔为例,孔的直径在15~30mm之间。

[0017] 进一步的,为了保证阻尼材料在结构中的含量以及结构对静水压的承受能力,泡沫金属的含量控制在70%~90%之间,为了保证结构的力学性能和对声学性能的增强作用,泡沫金属开孔大小在5mm~15mm之间。

[0018] 进一步的,为了保证结构具有足够的吸声能力,泡沫金属填充阻尼材料结构的总厚度为30~50mm。

[0019] 进一步的,泡沫金属材料的选取可以是铝,钢或铜等具有良好力学性能的金属。

[0020] 进一步的,阻尼材料为聚氨酯类粘弹性材料,如聚氨酯或橡胶等,在结构中起主要吸声作用,各向同性损耗因子为0.3及以上,以保证对声波能量具有足够的损耗能力。

[0021] 进一步的,在泡沫金属填充阻尼材料后开孔的结构上下表面覆盖一层硬阻尼材料覆盖层,以作为密封以及保护金属材料不被腐蚀的作用。

[0022] 综上所述,本发明具有优异的力学性能以及良好的水下吸声性能,在设计方面具有更多的可调参数,包括结构参数以及材料参数,可根据实际工况需求进行相应调节,结构简单,易于制造。

[0023] 下面通过附图和实施例,对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

## 附图说明

[0024] 图1为本发明结构示意图,其中,(a)为结构的整体示意图,(b)为泡沫金属开孔正视图,(c)为结构中锥型孔的剖面图。

[0025] 图2为纯聚氨酯、泡沫铝填充聚氨酯以及开孔泡沫铝打圆锥空腔后填充聚氨酯三种不同结构的吸声系数对比图。

[0026] 图3为不同阻尼层厚度时结构的吸声系数曲线对比图。

[0027] 图4为不同元胞大小时结构的吸声系数曲线对比图。

[0028] 图5为不同泡沫金属材料时结构的吸声系数曲线对比图。

[0029] 图6为不同聚氨酯模量时结构的吸声系数曲线对比图。

[0030] 其中:1.开孔泡沫金属骨架;2.软阻尼材料;3.硬阻尼材料覆盖层;4.空腔。

## 具体实施方式

[0031] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“中心”、“纵向”、“横向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”、“一侧”、“一端”、“一边”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。此外,在本发明的描述中,除非另有说明,“多个”的含义是两个或两个以上。

[0032] 在本发明的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可

以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0033] 泡沫金属是近年来发展迅速的一种功能型材料,它是由金属基体和相互贯通的孔隙相复合而成,表现出集结构和功能于一身的优良特性。相对于传统的致密金属,泡沫金属在结构上具有很多的优良特性,比如轻质、高比强度、高比刚度、高阻尼等;作为功能材料,它又具有吸/隔声、隔/散热、电磁波屏蔽等优点。

[0034] 本发明提供了一种阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构,在开孔泡沫金属中周期性地打上孔洞,然后将粘弹性阻尼材料填充入其中,最后再在所得到的结构上下表面覆盖硬聚氨酯,对结构进行密封保护。通过将阻尼材料与双孔隙泡沫金属相复合不仅提高了结构的力学性能,而且对阻尼材料的吸声性能也有很大的提升作用。从而实现了一种既能承载,又具有宽频吸声效果的水下吸声结构。

[0035] 请参阅图1,本发明一种阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构,包括起承载作用的开孔泡沫金属骨架1、作为吸声材料的软阻尼材料2、硬阻尼材料覆盖层3和空腔4,硬阻尼材料覆盖层3设置在开孔泡沫金属骨架1的上表面和下表面,能够保证整个水下吸声结构的密封性以及保护开孔泡沫金属骨架1不被海水腐蚀,开孔泡沫金属骨架1上周期性开有孔洞形成多个空腔4,软阻尼材料2设置在空腔4内用来提高结构的低频吸声性能。

[0036] 开孔泡沫金属骨架1由铁,铜或铝等金属材料发泡制得,孔隙率在70%~90%之间,孔隙孔径在0.8~2mm之间,厚度为30~50。

[0037] 空腔4的孔洞直径大于开孔泡沫金属骨架1的泡沫金属孔径,

[0038] 高度与开孔泡沫金属骨架1的厚度一致,形状为圆柱体型、或锥型、球型、椭球型或喇叭型中的一种或多种。

[0039] 软阻尼材料2具体为粘弹性材料,如软橡胶或软聚氨酯等,其杨氏模量在2~10MPa之间,损耗因子在0.3以上,完全填充开孔泡沫金属1的空腔。

[0040] 硬阻尼材料覆盖层3具体为粘弹性材料,如硬橡胶或硬聚氨酯等,其杨氏模量在30~100MPa之间,厚度为1~3mm,覆盖在结构上下表面,主要起保护作用。

[0041] 本发明一种阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构可以实现2~20kHz之间具有良好吸声效果,原因在于阻尼材料与双孔隙开口泡沫金属之间相互渗透,可以看作是一种网络互穿复合材料,两种材料之间不再是简单的叠加,由于泡沫金属的存在,声波下传播到结构表面时引起结构的振动,这时由于声阻抗的不协调,声波在阻尼材料中的传播速度远小于泡沫金属骨架中的传播速度,所以在两种材料的界面附近产生非常强烈的剪切作用,将纵波转化为横波,横波不能从结构中再传播到水中,故在结构中通过不断地散射和反射,最终耗散掉。此外,相比于单孔隙率泡沫金属,双孔隙率材料能够有效扩宽吸声频带,使吸声曲线向低频移动。此外,泡沫金属骨架对声波在阻尼材料中地传播有散射作用,改变声波地传播方向,增加其传播距离。另外,本结构还满足在高静水压下维持吸声性能不发生下降的要求;结构简单、可操作性强。

[0042] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。通常在此处附图中的描述和所示的本发明实

施例的组件可以通过各种不同的配置来布置和设计。因此,以下对在附图中提供的本发明的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围,而是仅仅表示本发明的选定实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0043] 实施例

[0044] 实施例用材料:

[0045] 金属铝:其特征是密度 $2700\text{kg}/\text{m}^3$ ,杨氏模量 $70\text{GPa}$ ,泊松比 $0.33$ 。

[0046] 阻尼材料:其特征是密度 $980\text{kg}/\text{m}^3$ ,杨氏模量 $6\text{MPa}$ ,泊松比 $0.497$ ,损耗因子为 $0.5$ 。

[0047] 硬聚氨酯:其特征是密度 $1100\text{kg}/\text{m}^3$ ,杨氏模量 $30\text{MPa}$ ,泊松比 $0.493$ ,损耗因子为 $0.3$ 。

[0048] 水:其特征是密度 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ,声速 $1500\text{m}/\text{s}$ 。

[0049] 实施例的结构尺寸:

[0050] 仿真计算使用开孔泡沫铝十四面体模型,元胞边长为 $8\text{mm}$ ,泡沫铝骨架直径为 $2\text{mm}$ ,孔隙率为 $70.1\%$ ,泡沫铝厚度为 $50\text{mm}$ ;硬阻尼材料覆盖层上下相同,厚度为 $2\text{mm}$ ;打孔模型参阅图1(c),上表面直径为 $10\text{mm}$ ,下表面直径为 $20\text{mm}$ ,周期排列,晶格尺寸为 $30\text{mm}$ 。

[0051] 采用以上材料和结构尺寸进行数值模拟,给出了实施例的结果如下:

[0052] 本发明的吸声性能请参阅图2,图2对比了纯聚氨酯结构,泡沫铝填充聚氨酯结构,以及本发明阻尼材料填充双孔隙率泡沫铝三种不同结构的吸声系数曲线。纯橡胶结构的吸声系数在 $2\sim 20\text{kHz}$ 频率范围内主要集中在 $0.65$ 左右,而泡沫铝填充聚氨酯后结构的吸声系数可以在 $8\text{kHz}$ 达到 $0.95$ 以上,开孔泡沫铝在 $5.6\text{kHz}$ 以下甚至对聚氨酯的吸声性能有抑制的作用。而本发明可以扩宽结构的带宽,提高低频结构的吸声性能。使得结构的吸声系数在 $6\text{kHz}$ 以后达到 $0.8$ 以上。

[0053] 此外,采用以上所述方法和材料,为了进一步说明结构尺寸对本发明声学性能的影响规律,对于本发明提供了以下对比例:

[0054] 对比例1

[0055] 请参阅图3,为不同泡沫铝填充聚氨酯结构厚度的吸声系数对比。在计算过程中,分别取结构厚度为 $30\text{mm}$ 、 $40\text{mm}$ 和 $50\text{mm}$ ,在此过程中保持其他参数不变。从图中可以看出,阻尼层越厚,结构的低频吸声系数越高。

[0056] 对比例2

[0057] 请参阅图4,为不同泡沫铝孔径时结构的吸声系数对比。在计算过程中,分别取泡沫铝孔径为 $8\text{mm}$ 、 $10\text{mm}$ 和 $12\text{mm}$ ,并保持其他参数不变。从图中可以看出,随着开孔直径的增大,低频吸声性能会有所提升,这是因为孔径的增大对内部聚氨酯的约束减弱,柔度增大,固有振动频率降低。同时高频区域的吸声系数会有所下降,这是由于泡沫铝孔径增大导致泡沫铝的含量降低,剪切效应的增强减小。

[0058] 对比例3

[0059] 请参阅图5,为不同泡沫金属结构的吸声系数对比。在计算过程中,分别将金属骨架设置为铝,铁和铜。其中铁的特征是密度 $7850\text{kg}/\text{m}^3$ ,杨氏模量 $200\text{GPa}$ ,泊松比 $0.27$ ,损耗因子 $0$ 。铜的特征是密度 $8960\text{kg}/\text{m}^3$ ,杨氏模量 $120\text{GPa}$ ,泊松比 $0.34$ ,损耗因子 $0$ 。从图中可以看出与泡沫铝相比,铜和铁的复合结构的吸声系数会有所提升,尤其在低频阶段,这是因为

与铝相比,铜和铁的声阻抗更大,与聚氨酯之间的相互作用更加剧烈。

[0060] 对比例4

[0061] 请参阅图6,为软聚氨酯的模量不同时结构的吸声系数对比。在计算过程中,分别取软聚氨酯的杨氏模量为2MPa、6MPa和10MPa并保持其他参数不变。从图中可以看出,随着软聚氨酯模量的增加,吸声曲线会往高频移动,同时吸声系数会提升,原因是模量变大使得结构的固有振动频率增大,同时模量的增加会使损耗模量同时增大,所以吸声系数会有所提升。

[0062] 根据上述数据可以看出,本发明达到的技术效果如下:

[0063] 1、本发明的仿真计算结果在2~20kHz吸声系数均在0.8左右,平均吸声系数达0.8以上,满足一定频段内完美吸声的要求;

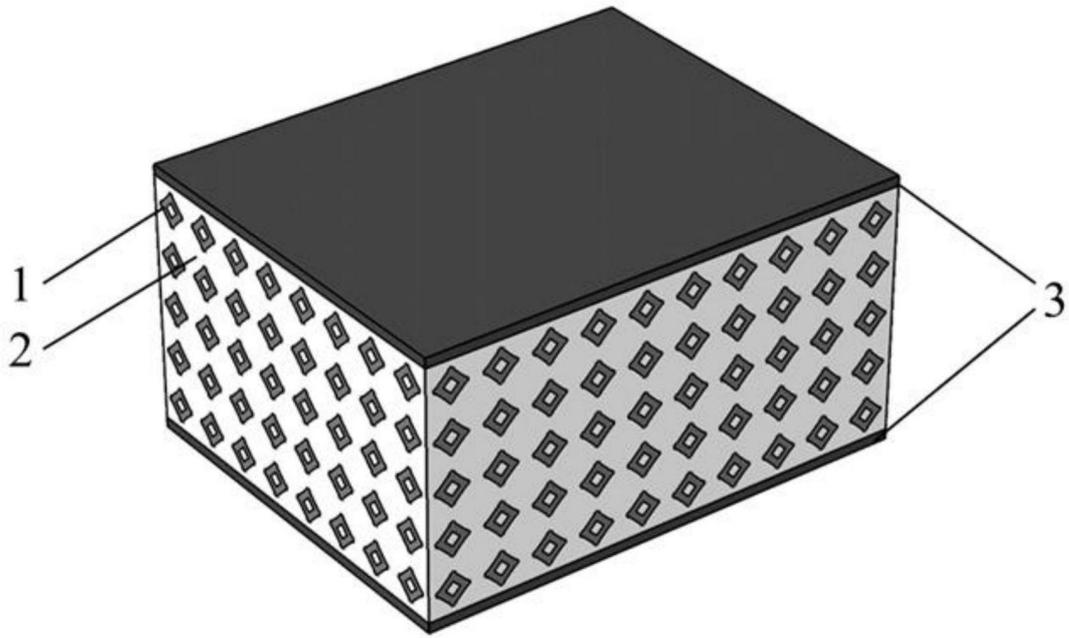
[0064] 2、与传统吸声材料相比,本发明不仅提升了整体吸声性能,而且解决了低频吸声性能较差的问题;

[0065] 3、结构简单、加工方便;

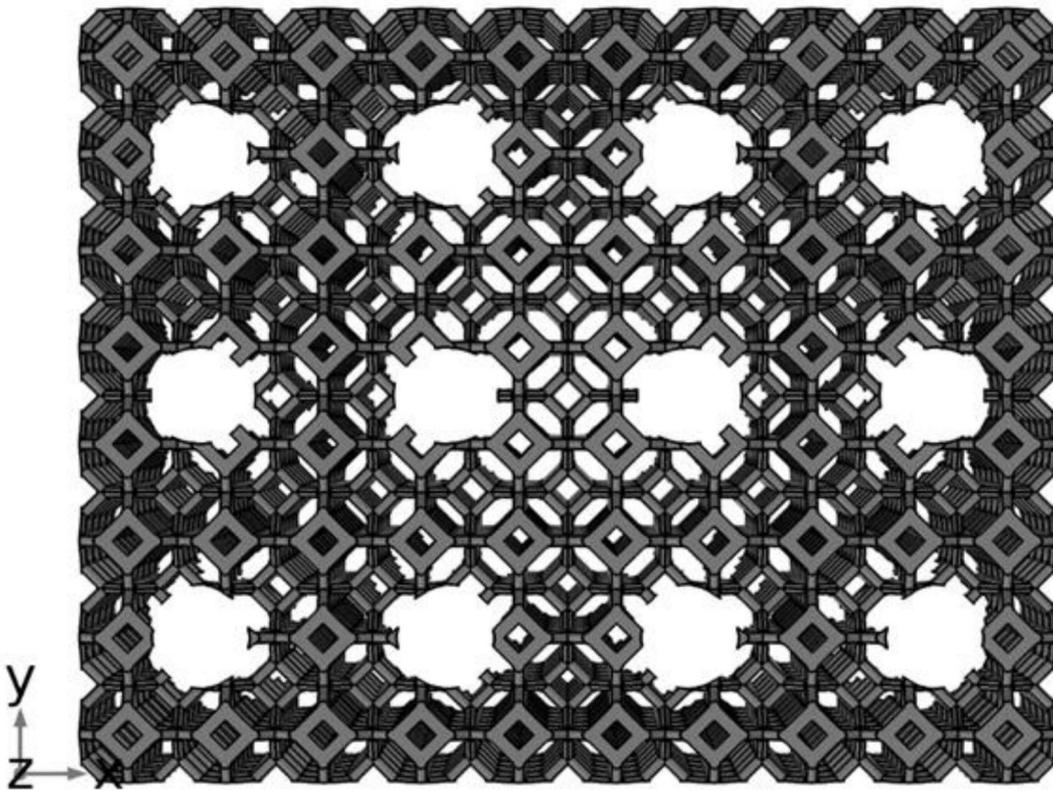
[0066] 4、通过改变泡沫金属的材料,孔隙率以及孔径等参数可以改变结构的力学性能和声学性能,适应不同场合下的要求。

[0067] 根据本发明一种阻尼材料填充双孔隙开孔泡沫金属水下吸声结构的上述特点,它可用于制造水下非耐压结构或一些承载结构,如吸声覆盖层,非耐压壳体等,具有很广泛的工程应用前景。

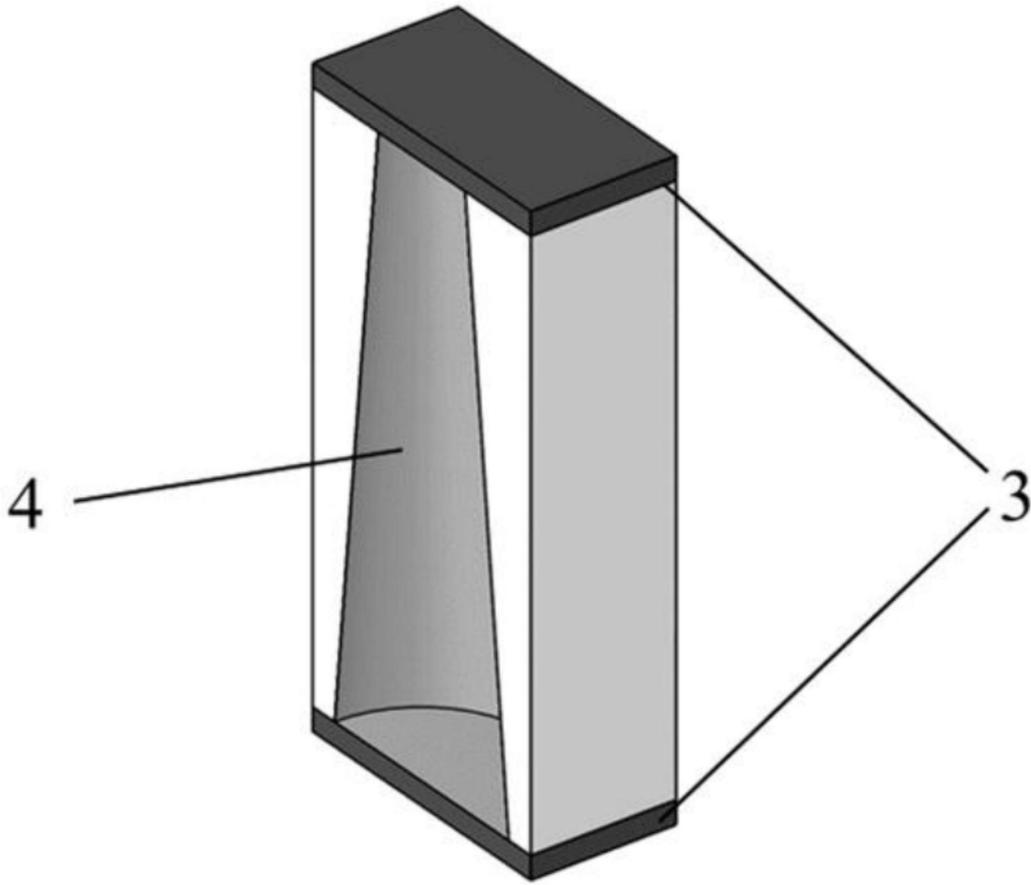
[0068] 以上内容仅为说明本发明的技术思想,不能以此限定本发明的保护范围,凡是按照本发明提出的技术思想,在技术方案基础上所做的任何改动,均落入本发明权利要求书的保护范围之内。



(a)



(b)



(c)

图1

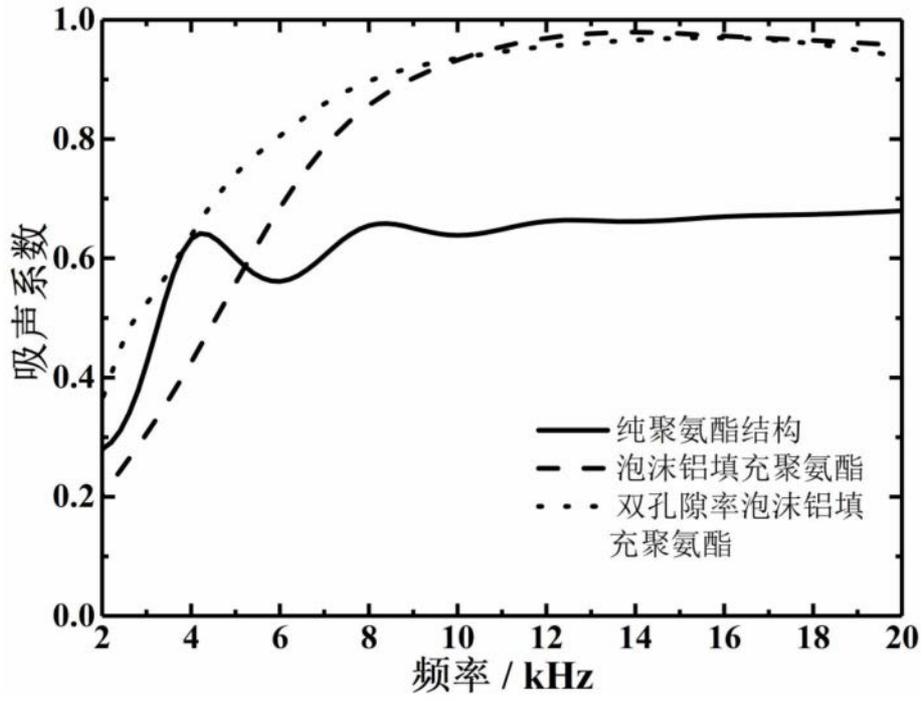


图2

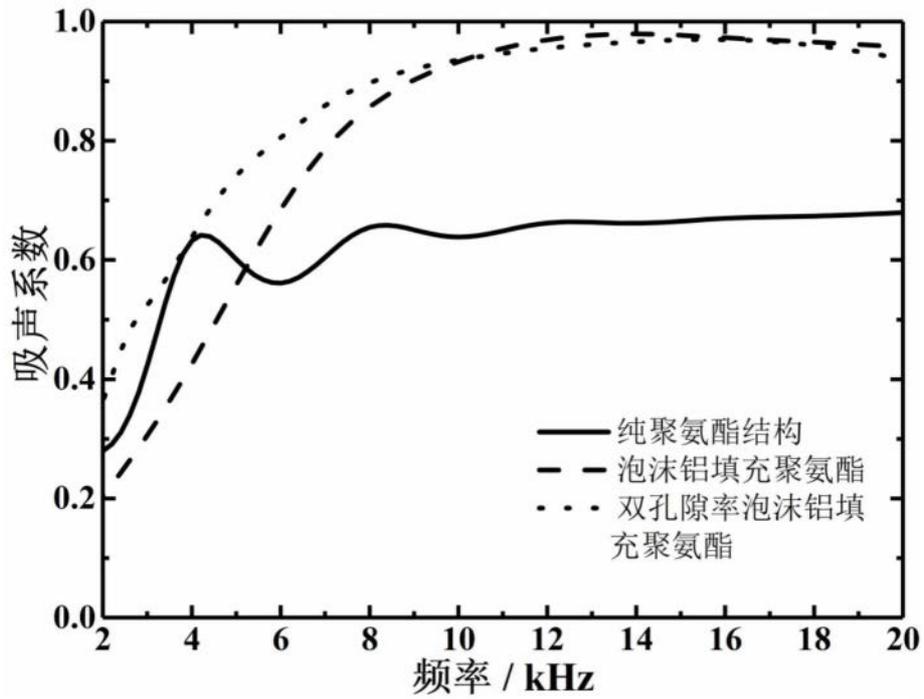


图3

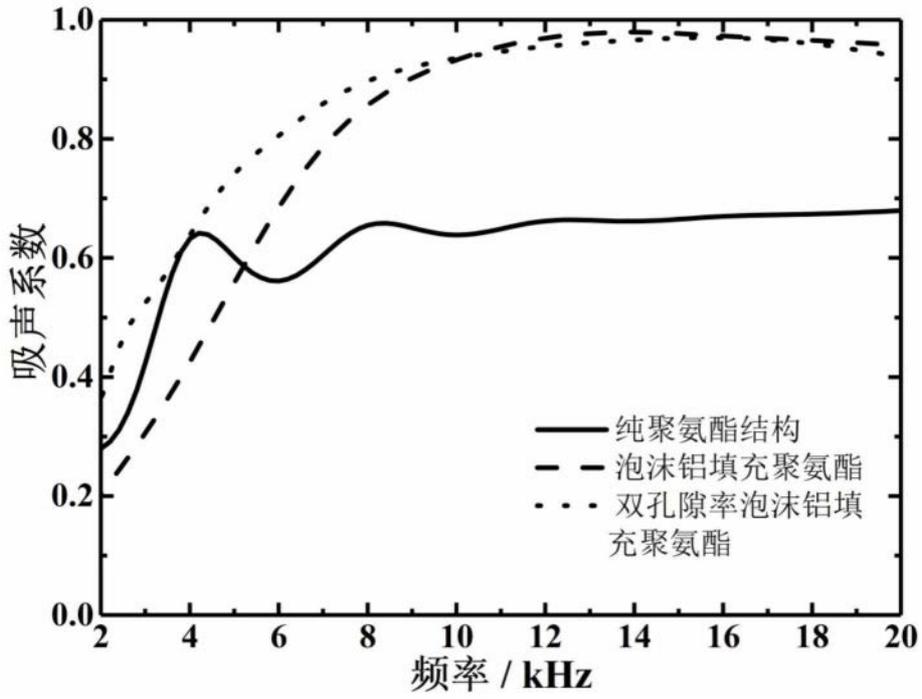


图4

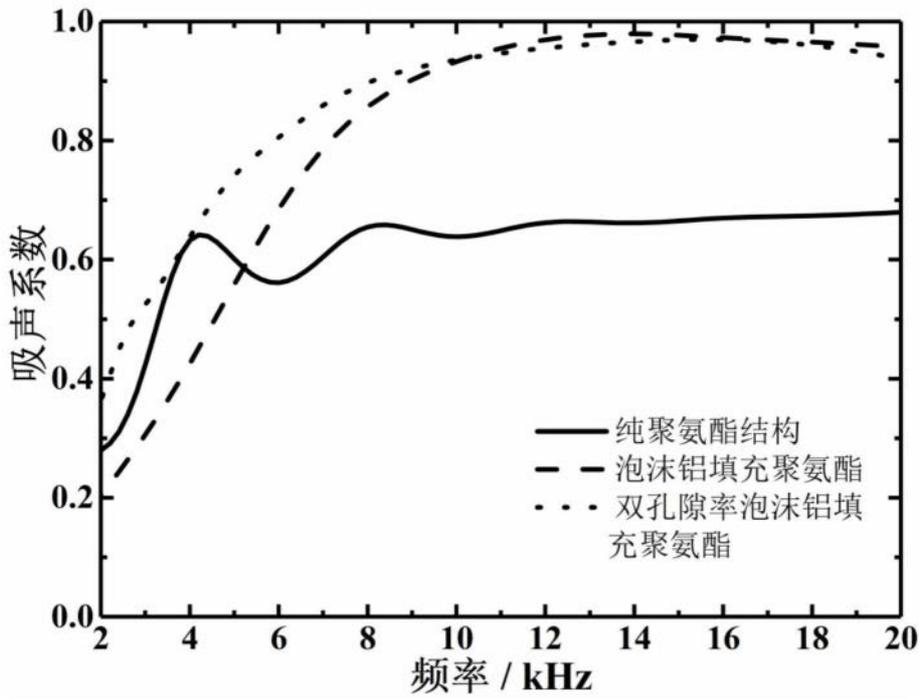


图5

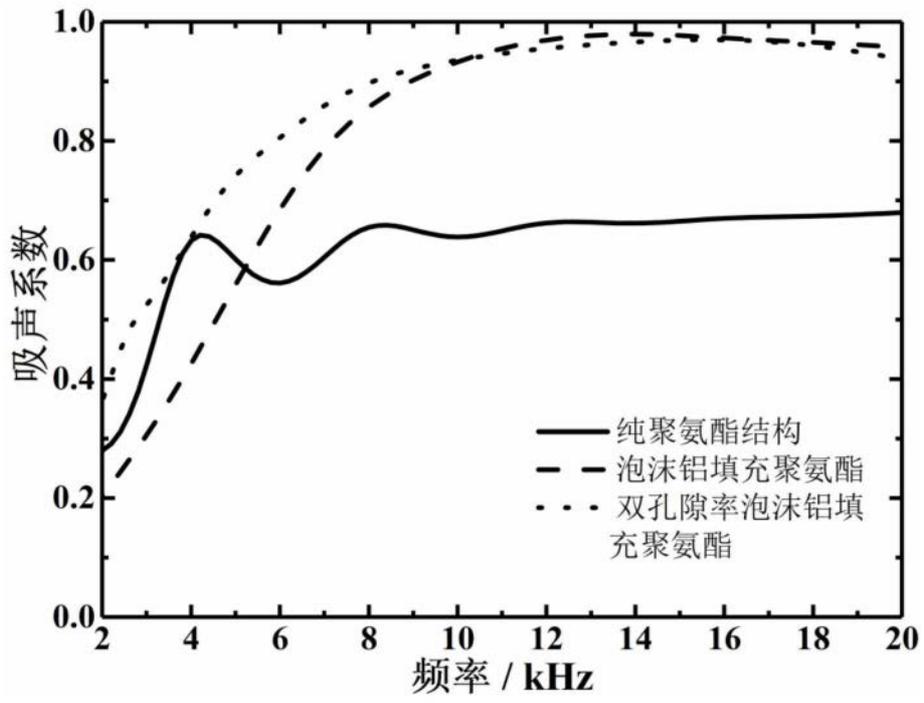


图6