(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 113002695 B
(45)授权公告日 2022.07.29

(21)申请号 202110246632.6
(22)申请日 2021.03.05
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113002695 A
(43)申请公布日 2021.06.22
(73)专利权人 西北工业大学
地址 710072 陕西省西安市友谊西路127号
(72)发明人 周杰 隋丹 肖和业 袁天月 潘宝瑞 宋翔 孙文豪
(74)专利代理机构 北京市盛峰律师事务所 11337
专利代理师 席小东
(51)Int.Cl.
B63B 3/68(2006.01)
B63G 8/34(2006.01)
(56)对比文件
CN 204252376 U,2015.04.08
CN 101038741 A,2007.09.19
CN 103370225 A,2013.10.23
CN 212200843 U,2020.12.22
CN 110905242 A,2020.03.24
CN 206053011 U,2017.03.29
US 6290022 B1,2001.09.18
CN 1678801 A,2005.10.05
JP 2009220652 A,2009.10.01
CN 103370225 A,2013.10.23
CN 106884485 A,2017.06.23
CN 201502111 U,2010.06.09
EP 0405581 A1,1991.01.02
CN 111516348 A,2020.08.11
CN 204252376 U,2015.04.08
CN 207160304 U,2018.03.30
CN 105292273 A,2016.02.03
CN 1122860 A,1996.05.22
CN 1122860 A,1996.05.22
审查员 李利文

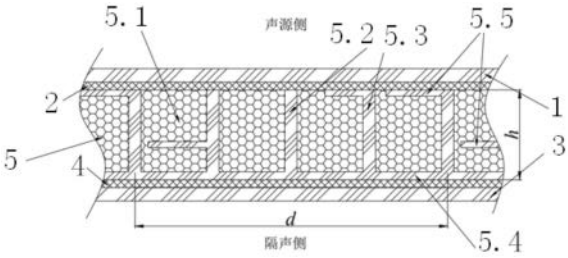
权利要求书2页 说明书7页 附图7页

(54)发明名称

基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构

(57)摘要

本发明提供一种基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构，水下三明治隔声结构包括：声源侧表面隔声层、声源侧减振层、隔声侧表面隔声层、隔声侧减振层和泡沫超构表面层；泡沫超构表面层包括多个泡沫块单元；各个泡沫块单元按设定规则周期排列；对于泡沫块单元包括的n个泡沫块模块，设计各个泡沫块模块的插板设置高度、插板的长度以及是否安装插板，进而调节各个泡沫块模块的表面相位，实现对声波相位0～π范围的调控。本发明提供一种基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构，兼顾隔声结构重量、厚度和隔声效果，在保证结构强度的前提下，用较小质量、较薄厚度和更低的制造成本实现了优良的宽频带隔声效果和减振作用。



CN 113002695 B

1.一种基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构,其特征在于,包括:声源侧表面隔声层(1)、声源侧减振层(2)、隔声侧表面隔声层(3)、隔声侧减振层(4)和泡沫超构表面层(5);

所述声源侧表面隔声层(1)和所述隔声侧表面隔声层(3)相对设置;在所述声源侧表面隔声层(1)的内侧设置所述声源侧减振层(2);在所述隔声侧表面隔声层(3)的内侧设置所述隔声侧减振层(4);所述泡沫超构表面层(5)夹于所述声源侧减振层(2)和所述隔声侧减振层(4)之间;

所述泡沫超构表面层(5)包括多个泡沫块单元;各个所述泡沫块单元按设定规则周期排列;

其中,每个所述泡沫块单元包括n个横向或纵向排列的泡沫块模块;每个所述泡沫块模块包括泡沫块本体(5.1)、支撑框架和/或插板(5.5);当安装所述插板(5.5)时,所述插板(5.5)与所述支撑框架的设定高度一体成型;所述泡沫块本体(5.1)设置于所述支撑框架的内部,并使所述插板(5.5)插入到所述泡沫块本体(5.1)对位高度位置开设的槽内;

对于所述泡沫块单元包括的n个泡沫块模块,设计各个泡沫块模块的插板(5.5)设置高度、插板(5.5)的长度以及是否安装插板(5.5),进而调节各个泡沫块模块的表面相位,实现对声波相位0～π范围的调控;

其中,对于所述泡沫块单元包括的n个泡沫块模块,均为长度为d/4,宽度为d/4,高度为h的矩形泡沫块;泡沫块单元的单元长度为d;

当n等于4时,按设置顺序,依次表示为第1泡沫块模块、第2泡沫块模块、第3泡沫块模块和第4泡沫块模块;

其中:

第1泡沫块模块,其插板(5.5)的长度为0.9d/4,宽度为d/4,设置高度为0.3h;

第2泡沫块模块,不设置插板(5.5);

第3泡沫块模块,其插板(5.5)的长度为0.6d/4,宽度为d/4,设置高度为h;

第4泡沫块模块,其插板(5.5)的长度为0.9d/4,宽度为d/4,设置高度为h。

2.根据权利要求1所述的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构,其特征在于,所述支撑框架包括左侧隔板(5.2)、右侧隔板(5.3)和基底(5.4);所述基底(5.4)的左侧与所述左侧隔板(5.2)一体成型;所述基底(5.4)的右侧与所述右侧隔板(5.3)一体成型;所述插板(5.5)水平设置于所述基底(5.4)的上方,并位于所述左侧隔板(5.2)和所述右侧隔板(5.3)之间;所述插板(5.5)的一侧与所述右侧隔板(5.3)在设定高度一体成型。

3.根据权利要求1所述的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构,其特征在于,以n个泡沫块模块为周期,横向排列各个泡沫块单元,和/或,以n个泡沫块模块为周期,纵向排列各个泡沫块单元。

4.根据权利要求1所述的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构,其特征在于,n为4或8。

5.根据权利要求1所述的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构,其特征在于,所述泡沫块本体(5.1)的泡沫材料为金属纤维泡沫。

6.根据权利要求1所述的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构,其特征在于,所述泡沫块本体(5.1)为硅油填充多孔泡沫孔隙的硅油饱和泡沫。

7.根据权利要求1所述的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构,其特征在于,所述

支撑框架和所述插板(5.5)采用同一种刚性材料。

8.根据权利要求1所述的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构,其特征在于,所述声源侧表面隔声层(1)和所述隔声侧表面隔声层(3)采用玻璃钢;

所述声源侧减振层(2)和所述隔声侧减振层(4)采用橡胶材料。

9.根据权利要求1所述的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构,其特征在于,所述声源侧表面隔声层(1)和所述隔声侧表面隔声层(3)的厚度为1～50mm;所述声源侧减振层(2)和所述隔声侧减振层(4)的厚度为1～50mm;所述泡沫超构表面层(5)的厚度为10～100mm。

基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构

技术领域

[0001] 本发明属于隔声降噪技术领域，具体涉及一种基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构。

背景技术

[0002] 辐射噪声是衡量舰艇和鱼雷等水下航行器战斗力及生存能力的主要性能之一，同时也对渔船、客船等作业运营和海洋环境带来严重危害。以船舶和潜艇为例，动力机械噪声和螺旋桨是其水下噪声的主要来源。船舶噪声事关航行安全，也对船员和旅客健康和舒适带来严重影响；潜艇噪声则会直接导致己方目标暴露，还会干扰声纳的正常探测。因此，控制水下辐射噪声对各类水下航行器都有着重要的意义。

[0003] 目前水下航行器噪声存在着声源多、功率大和频谱宽等特点，在舰艇舱室围壁和外壁设置隔声结构，即对噪声传播途径进行控制，是常用的隔声手段。要求隔声结构具有较大的结构强度，适用于水下隔声，且具有良好的宽频带隔声作用。

[0004] 传统围壁结构使用单层钢板加筋，并在其表面敷设吸声材料和阻尼材料，这种方式时间成本高，防火和重量特性差，结构厚度宽，隔声频带窄，且隔声性能随水压增大而变差。为此，如何在降低结构重量，厚度和复杂度的同时提高隔声效果，对于水下航行器的辐射噪声控制具有重要的应用价值。

发明内容

[0005] 为了克服现有水下航行器隔声结构的技术问题和不足，本发明提供一种基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构，兼顾隔声结构重量、厚度和隔声效果，在保证结构强度的前提下，用较小质量、较薄厚度和更低的制造成本实现了优良的宽频带隔声效果和减振作用。

[0006] 本发明采用的技术方案如下：

[0007] 本发明提供一种基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构，包括：声源侧表面隔声层(1)、声源侧减振层(2)、隔声侧表面隔声层(3)、隔声侧减振层(4)和泡沫超构表面层(5)；

[0008] 所述声源侧表面隔声层(1)和所述隔声侧表面隔声层(3)相对设置；在所述声源侧表面隔声层(1)的内侧设置所述声源侧减振层(2)；在所述隔声侧表面隔声层(3)的内侧设置所述隔声侧减振层(4)；所述泡沫超构表面层(5)夹于所述声源侧减振层(2)和所述隔声侧减振层(4)之间；

[0009] 所述泡沫超构表面层(5)包括多个泡沫块单元；各个所述泡沫块单元按设定规则周期排列；

[0010] 其中，每个所述泡沫块单元包括n个横向或纵向排列的泡沫块模块；每个所述泡沫块模块包括泡沫块本体(5.1)、支撑框架和插板(5.5)；所述插板(5.5)与所述支撑框架的设定高度一体成型；所述泡沫块本体(5.1)设置于所述支撑框架的内部，并使所述插板(5.5)

插入到所述泡沫块本体(5.1)对位高度位置开设的槽内；

[0011] 对于所述泡沫块单元包括的n个泡沫块模块，设计各个泡沫块模块的插板(5.5)设置高度、插板(5.5)的长度以及是否安装插板(5.5)，进而调节各个泡沫块模块的表面相位，实现对声波相位0～π范围的调控。

[0012] 优选的，所述支撑框架包括左侧隔板(5.2)、右侧隔板(5.3)和基底(5.4)；所述基底(5.4)的左侧与所述左侧隔板(5.2)一体成型；所述基底(5.4)的右侧与所述右侧隔板(5.3)一体成型；所述插板(5.5)水平设置于所述基底(5.4)的上方，并位于所述左侧隔板(5.2)和所述右侧隔板(5.3)之间；所述插板(5.5)的一侧与所述右侧隔板(5.3)在设定高度一体成型。

[0013] 优选的，以n个泡沫块模块为周期，横向排列各个泡沫块单元，和/或，以n个泡沫块模块为周期，纵向排列各个泡沫块单元。

[0014] 优选的，n为4或8。

[0015] 优选的，对于所述泡沫块单元包括的n个泡沫块模块，均为长度为d/4，宽度为d/4，高度为h的矩形泡沫块；泡沫块单元的单元长度为d；

[0016] 当n等于4时，按设置顺序，依次表示为第1泡沫块模块、第2泡沫块模块、第3泡沫块模块和第4泡沫块模块；

[0017] 其中：

[0018] 第1泡沫块模块，其插板(5.5)的长度为0.9d/4，宽度为d/4，设置高度为0.3h；

[0019] 第2泡沫块模块，不设置插板(5.5)；

[0020] 第3泡沫块模块，其插板(5.5)的长度为0.6d/4，宽度为d/4，设置高度为h；

[0021] 第4泡沫块模块，其插板(5.5)的长度为0.9d/4，宽度为d/4，设置高度为h。

[0022] 优选的，所述泡沫块本体(5.1)的泡沫材料为金属纤维泡沫。

[0023] 优选的，所述泡沫块本体(5.1)为硅油填充多孔泡沫孔隙的硅油饱和泡沫。

[0024] 优选的，所述支撑框架和所述插板(5.5)一体成型；所述支撑框架和所述插板(5.5)采用同一种刚性材料。

[0025] 优选的，所述声源侧表面隔声层(1)和所述隔声侧表面隔声层(3)采用玻璃钢；

[0026] 所述声源侧减振层(2)和所述隔声侧减振层(4)采用橡胶材料。

[0027] 优选的，所述声源侧表面隔声层(1)和所述隔声侧表面隔声层(3)的厚度为1～50mm；所述声源侧减振层(2)和所述隔声侧减振层(4)的厚度为1～50mm；所述泡沫超构表面层(5)的厚度为10～100mm。

[0028] 本发明提供的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构具有以下优点：

[0029] 本发明所提供的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构，据此结构周期性组合排列而成的隔声板，具有外形适应能力强，与水阻抗匹配好，加工难度低，施工周期短，建造成本低，结构强度和刚度大，密度小，质量轻，防火保温，不易锈蚀等显著优点，可以适用于水下航行器的舱室围壁和外壁结构的使用环境，具有优良的宽频带隔声效果和减振作用。

[0030] 本发明的其他特征和特点将在基于本隔声结构设计的几种实施例中予以详细说明。

附图说明

[0031] 图1为本发明提供的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构的截面图；

[0032] 图2为本发明提供的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构中隐藏泡沫块本体后的分解图；

[0033] 图3为本发明提供的泡沫超构表面层5中隐藏泡沫块本体后的立体示意图；

[0034] 图4为本发明提供的泡沫块模块的结构图；

[0035] 图5为本发明提供的泡沫块模块周期性排列的一种具体示意图；

[0036] 图6为本发明提供的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构进行水下吸声计算模型示意图；

[0037] 图7为本发明提供的泡沫块模块的示意图；

[0038] 图8为本发明提供的泡沫块模块对-45°声波镜面反射的示意图；

[0039] 图9为采用本发明提供的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构的吸声系数变化图；

[0040] 图10为采用本发明提供的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构的传声损失变化图；

[0041] 图11为作为对比的采用均匀泡沫夹芯结构的反射、透射、吸声系数变化图；

[0042] 其中：

[0043] 1—声源侧表面隔声层；2—声源侧减振层；3—隔声侧表面隔声层；4—隔声侧减振层；5—泡沫超构表面层；5.1—泡沫块本体；5.2—左侧隔板；5.3—右侧隔板；5.4—基底；5.5—插板。

具体实施方式

[0044] 以下结合附图对本发明的具体实施方式进一步说明。本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明，并不旨在穷尽根据本发明的所有实施例。应当理解，在不偏离本发明范围的前提下，可以将此结构进行部分修改或组合，用于其他实施例。

[0045] 在以下具体描述中，在为作其他特别说明情况下，使用的方位词如”上，中，下，内，外“通常指附图中的上，中，下，内，外。本发明中实施例的部件可被置于各种不同方位，不构成对本发明的不当限定。

[0046] 本发明提供一种基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构，具有外形适应能力强，与水阻抗匹配好，加工难度低，施工周期短，建造成本低，结构强度和刚度大，密度小，质量轻，防火保温，不易锈蚀等显著优点，可以适用于水下航行器的舱室围壁和外壁结构的使用环境，具有优良的宽频带隔声效果和减振作用。

[0047] 参考图1，本发明提供的一种基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构，包括：声源侧表面隔声层1、声源侧减振层2、隔声侧表面隔声层3、隔声侧减振层4和泡沫超构表面层5；

[0048] 结合图2，声源侧表面隔声层1和隔声侧表面隔声层3相对设置；在声源侧表面隔声层1的内侧设置声源侧减振层2；在隔声侧表面隔声层3的内侧设置隔声侧减振层4；泡沫超构表面层5夹于声源侧减振层2和隔声侧减振层4之间；

[0049] 本发明主要创新为对泡沫超构表面层5的独创性设计，下面针对泡沫超构表面层5

详细介绍：

[0050] 如图3所示，为泡沫超构表面层5中隐藏泡沫块本体后的立体示意图；泡沫超构表面层5包括多个泡沫块单元；各个泡沫块单元按设定规则周期排列；例如，各个泡沫块单元横向排列，或，各个泡沫块单元纵向排列。

[0051] 其中，每个泡沫块单元包括n个横向或纵向排列的泡沫块模块；每个泡沫块模块的结构如图4所示，包括泡沫块本体5.1、支撑框架和插板5.5；插板5.5与支撑框架的设定高度一体成型；泡沫块本体5.1设置于支撑框架的内部，并使插板5.5插入到泡沫块本体5.1对位高度位置开设的槽内；

[0052] 作为一种具体实现方式，支撑框架包括左侧隔板5.2、右侧隔板5.3和基底5.4；基底5.4的左侧与左侧隔板5.2一体成型；基底5.4的右侧与右侧隔板5.3一体成型；插板5.5水平设置于基底5.4的上方，并位于左侧隔板5.2和右侧隔板5.3之间；插板5.5的一侧与右侧隔板5.3在设定高度一体成型。

[0053] 对于泡沫块单元包括的n个泡沫块模块，设计各个泡沫块模块的插板5.5设置高度、插板5.5的长度以及是否安装插板5.5，泡沫块模块的声阻抗会发生改变，通过精心调节各个泡沫块模块的表面相位，从而使得由相邻泡沫快模块组成的反射界面产生π/2的负相位差梯度，最终实现对声波相位0～π范围的调控。

[0054] 根据公式：

[0055] $$\sin\theta_r - \sin\theta_i = \frac{\lambda}{2\pi}\frac{d\phi}{dx}$$

[0056] θ_r：声波反射角；

[0057] θ_i：声波入射角；

[0058] λ：入射声波波长；

[0059] $\frac{d\phi}{dx}$：反射波沿反射面沿x方向的相位梯度。

[0060] 当泡沫块单元的单元长度d小于半波长时，即$\lambda/n_i d > 2$时，其中：λ为入射声波波长，n_i为超构表面折射率，d为一个周期的超构表面长度。此时±1阶反射波均不存在，转化为表面波，结构表面只产生镜面反射和直接透射，如图8所示，声波的吸收效率较高。

[0061] 实际应用中，本发明对泡沫块单元包括的泡沫块模块的数量n并不限制，例如，n为4或8等。

[0062] 对于泡沫块单元包括的n个泡沫块模块，均为长度为d/4，宽度为d/4，高度为h的矩形泡沫块；泡沫块单元的单元长度为d；

[0063] 当n等于4时，按设置顺序，依次表示为第1泡沫块模块、第2泡沫块模块、第3泡沫块模块和第4泡沫块模块；

[0064] 其中：

[0065] 第1泡沫块模块，其插板5.5的长度为0.9d/4，宽度为d/4，设置高度为0.3h；

[0066] 第2泡沫块模块，不设置插板5.5；

[0067] 第3泡沫块模块，其插板5.5的长度为0.6d/4，宽度为d/4，设置高度为h；

[0068] 第4泡沫块模块，其插板5.5的长度为0.9d/4，宽度为d/4，设置高度为h。

[0069] 需要强调的是，上面描述的4个泡沫块模块的设置方式，仅为一种具体实施方式，

实际应用中，可采用其他设计方式，只要通过改变插板5.5的长度、设置高度以及是否安装插板，实现调节各个泡沫块模块的表面相位，实现对声波相位0～π范围的调控的作用即可。

[0070] 可以以4个泡沫块模块为周期，横向排列各个泡沫块单元，和/或，以4个泡沫块模块为周期，纵向排列各个泡沫块单元。如图5所示，为泡沫块模块周期性排列的一种具体示意图；在图5中，泡沫块单元包括4个泡沫块模块，分别为：第1泡沫块模块P1、第2泡沫块模块P2、第3泡沫块模块P3和第4泡沫块模块P4；横向上，以第1泡沫块模块P1、第2泡沫块模块P2、第3泡沫块模块P3和第4泡沫块模块P4为周期，排列各个泡沫块模块；纵向上，以第1泡沫块模块P1、第4泡沫块模块P4、第3泡沫块模块P3和第2泡沫块模块P2为周期，排列各个泡沫块模块。

[0071] 下面对本发明提供的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构的参数，进行一种举例介绍：

[0072] 1)为了使泡沫超构表面层5与入射域介质，即水，实现较好的阻抗匹配，泡沫块本体5.1使用硅油填充多孔泡沫孔隙的硅油饱和泡沫，泡沫块本体5.1采用的泡沫材料为金属纤维泡沫，可适用于复杂环境。

[0073] 2)支撑框架和插板5.5一体成型；支撑框架和插板5.5采用同一种刚性材料。支撑框架和插板5.5厚度根据结构强度需要进行小范围调节。

[0074] 3)声源侧表面隔声层1和隔声侧表面隔声层3采用玻璃钢制成。

[0075] 4)声源侧减振层2和隔声侧减振层4采用橡胶材料。

[0076] 5)声源侧表面隔声层1和隔声侧表面隔声层3的厚度为1～50mm；声源侧减振层2和隔声侧减振层4的厚度为1～50mm；泡沫超构表面层5的厚度为10～100mm。

[0077] 下面对本发明提供的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构的水下声学特性进行检验：

[0078] 使用COMSOL Multiphysics商业有限元软件计算单元相位和结构的反射系数。如图6所示，泡沫超构表面层5呈周期性排列，并以声学硬边界作为边界条件。为在远场设置完美匹配层(PML)以模拟压力波的无限域，消除虚假反射波的影响。以平面波作为背景声场，声波冲击整个结构的上表面，模型中使用的声源侧减振层2和隔声侧减振层4的厚度均为2cm，模型输入条件中温度为293.15K，绝对压力为1标准大气压。考虑到其在水中隔声的实际应用的需求，本仿真将泡沫超构表面层5的厚度按比例减小，分别检测泡沫超构表面层5的厚度为3、5、7、10cm时的泡沫超构表面夹芯三明治隔声结构的声学性能。

[0079] 作为对比，将本发明提供的三明治隔声结构中的泡沫超构表面层5替换为均匀泡沫，研究均匀泡沫夹芯三明治结构在水下平面波垂直入射时的声学性能。并分别检测均匀泡沫夹芯厚度为3、5、7、10cm的均匀泡沫三明治结构的吸声系数，其中泡沫均为硅油饱和泡沫。

[0080] 如图9所示，为采用本发明提供的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构的吸声系数变化图；如图10所示，为采用本发明提供的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构的传声损失变化图；其中，在图9和图10中，均进行泡沫超构表面层5厚度为3、5、7、10cm时的检测；

[0081] 如图11所示，为作为对比的采用均匀泡沫夹芯结构的反射、透射、吸声系数变化图；其中，在图11中，进行均匀泡沫夹芯厚度为3、5、7、10cm的检测；

[0082] 从图9四条吸声系数曲线的对比发现，对于等比例尺寸不同厚度的泡沫超构表面层5，其三明治结构的吸声系数的趋势大致相同，都在低频部分较低，中高频部分开始上升，并存在两个吸收峰。随着厚度的增大，吸收峰逐渐向低频方向移动。第一个吸收峰，即两个峰中较高的一个，其峰值对应频率由2900Hz降到2100Hz，吸声系数保持在0.8左右。第二个吸收峰峰值对应频率由4500Hz降到4000Hz，吸声系数由0.79(4500Hz)下降到0.65(4000Hz)。而两个吸收峰中间频段的吸声系数随厚度的增大而减小，由0.6左右(3cm)降为0.45左右(10cm)。在1000Hz以下的低频段，超构表面厚度的增大有利于低频段的声波吸收，10cm厚度时的吸声系数在全频段超过0.1，这一结果优于厚度为3、5、7cm的情况。

[0083] 从图10四条传声损失曲线的对比发现，四种不同厚度的泡沫超构表面层5在2500Hz以下的传声损失相差不大，均在35～45dB范围内波动，2500Hz以上传声损失的差异较大，整体来看，随着泡沫超构表面层5厚度的减小，传声损失也不断减小，10cm厚度时的最大传声损失为70dB，3cm时2500Hz以上频段内的最大传声损失降为43dB。

[0084] 从图11的检测结果可以看到，作为对比的均匀泡沫夹芯三明治结构，当在两层平面板的厚度保持2cm不变时，三明治结构的夹芯厚度从3cm到10cm变化的过程中，结构的反射、透射及吸声系数非常接近，几乎不发生变化。这种均匀泡沫夹芯结构的吸声系数在3500Hz之前的频段全部低于0.4，全部计算频段中吸声峰值在4400Hz，对应吸声系数为0.71。

[0085] 由仿真结果的对比可以看出，本发明提供的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构，在1500～5000Hz频段的吸声系数均优于作为对比的均匀泡沫夹芯结构。与图11所示的均匀泡沫夹芯三明治结构的计算结果相比，本发明结构在3500Hz以下的频率时，吸声系数优于作为对比的均匀泡沫夹芯结构，显著提升了泡沫材料在低频部分的吸声性能。在传声损失方面，本发明设计的三明治结构在3000Hz以下时传声损失在30～45dB之间，3000Hz以后传声损失增大明显，3500Hz时最大，值为69.5dB，之后随频率增大而减小，但仍大于50dB。

[0086] 由此证实本发明提供的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构，可以适用于水下航行器的舱室围壁和外壁结构的使用环境，具有优良的宽频带隔声效果和减振作用。

[0087] 下面介绍一种具体实施的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构。声源侧表面隔声层1和隔声侧表面隔声层3均使用玻璃钢，厚度为2cm；玻璃钢属于纤维强化塑料，质轻而硬，不导电，性能稳定，机械强度高，回收利用少，耐腐蚀，常用于替代钢材制造船舶外壳。

[0088] 声源侧减振层2和隔声侧减振层4均使用橡胶，厚度为1cm。泡沫超构表面层5泡沫部分使用金属纤维泡沫。

[0089] 对于泡沫块单元，使用4个泡沫块模块为一个单元周期性排列，泡沫块整体大小为10cm*10cm*10cm，左侧隔板5.2、右侧隔板5.3和插板5.5厚度为3mm，基底5.4为4mm。左侧隔板5.2、右侧隔板5.3、基底5.4和插板5.5采用3D打印一体成型，既可增强夹芯层整体结构强度，又可与上下表面层内侧的减振层固定，避免声源侧表面隔声层1与基底5.4之间的刚性接触，以及避免隔声侧表面隔声层3与基底5.4之间的刚性接触。

[0090] 在4个泡沫块模块二维线性周期排列的情形下，加入纵向周期排列，如图5所示，在平面上看，横向与纵向均保持泡沫块的周期性排列。

[0091] 对此结果进行仿真试验，在加入玻璃钢的声源侧表面隔声层1和隔声侧表面隔声

层3后，100～3000Hz频段结构的传声损失在40～55dB之间，3000Hz以后传声损失均大于55dB。如果减小泡沫超构表面层5厚度，传声损失在2500Hz以上会有所下降，但整体趋势相同，这体现了超构表面降噪结构在亚波长尺度下的优越声学性能，宽频带隔声效果极佳。

[0092] 在此指明，本发明的基于泡沫超构表面的水下三明治隔声结构，作为一种通用隔声结构，可用于多种用途，如船舶舱室围壁，潜艇外壁，鱼雷壳体等，以上具体实施方式仅说明了本实施例的优选实施方式，但本发明的各种不同的实施方式之间也可以进行任意组合，只要其不违背本发明的思想，其同样应当视为本发明所公开的内容，在本发明要求保护的范围内。

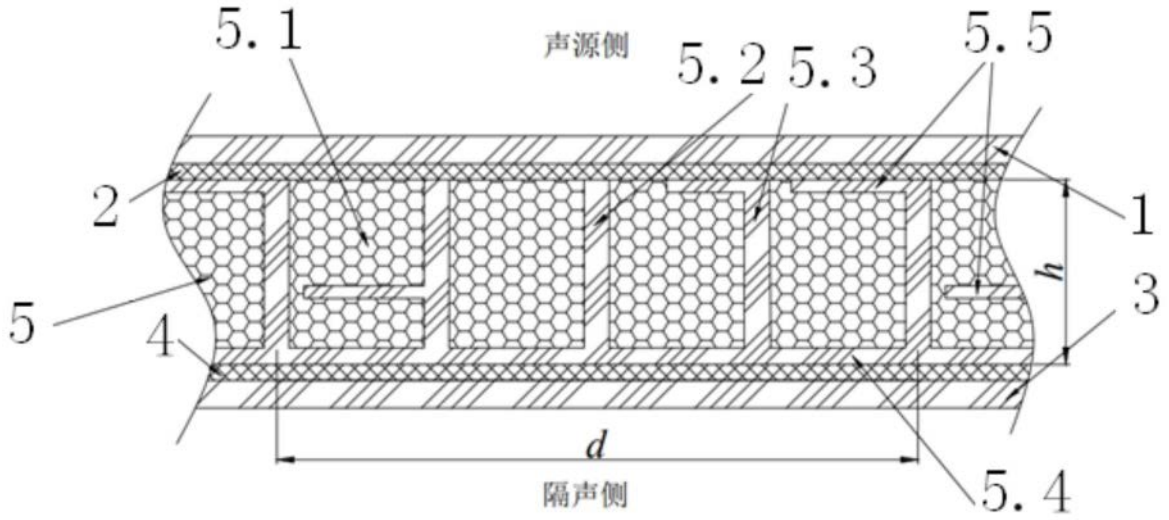


图1

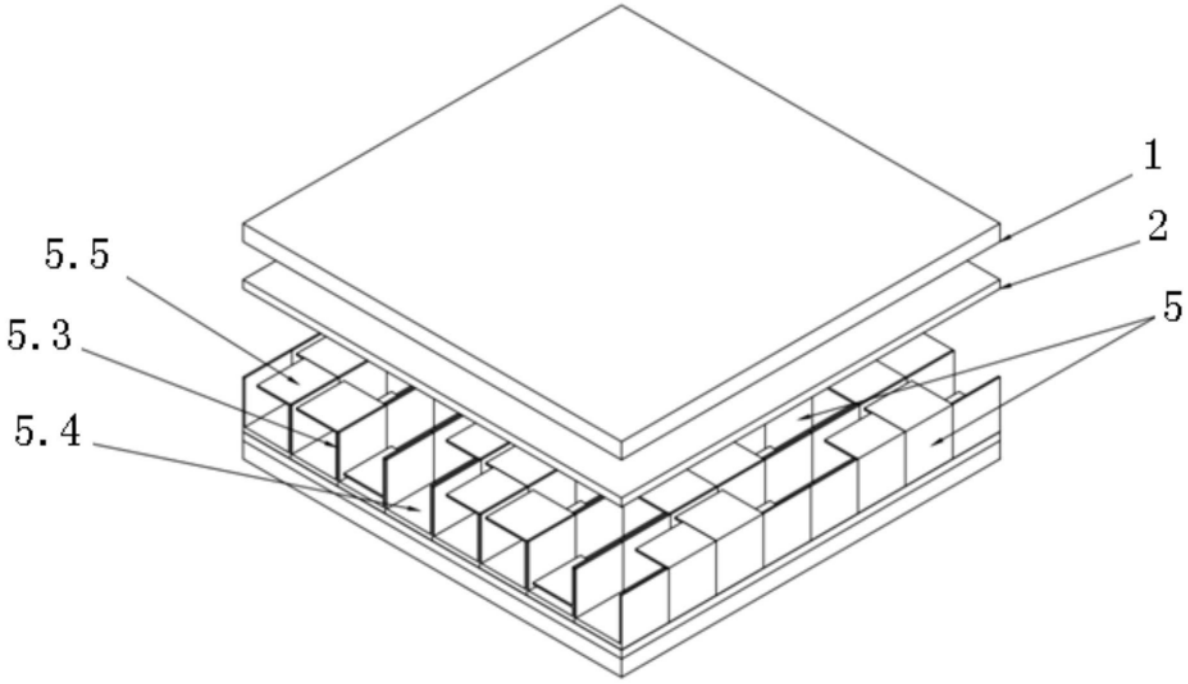


图2

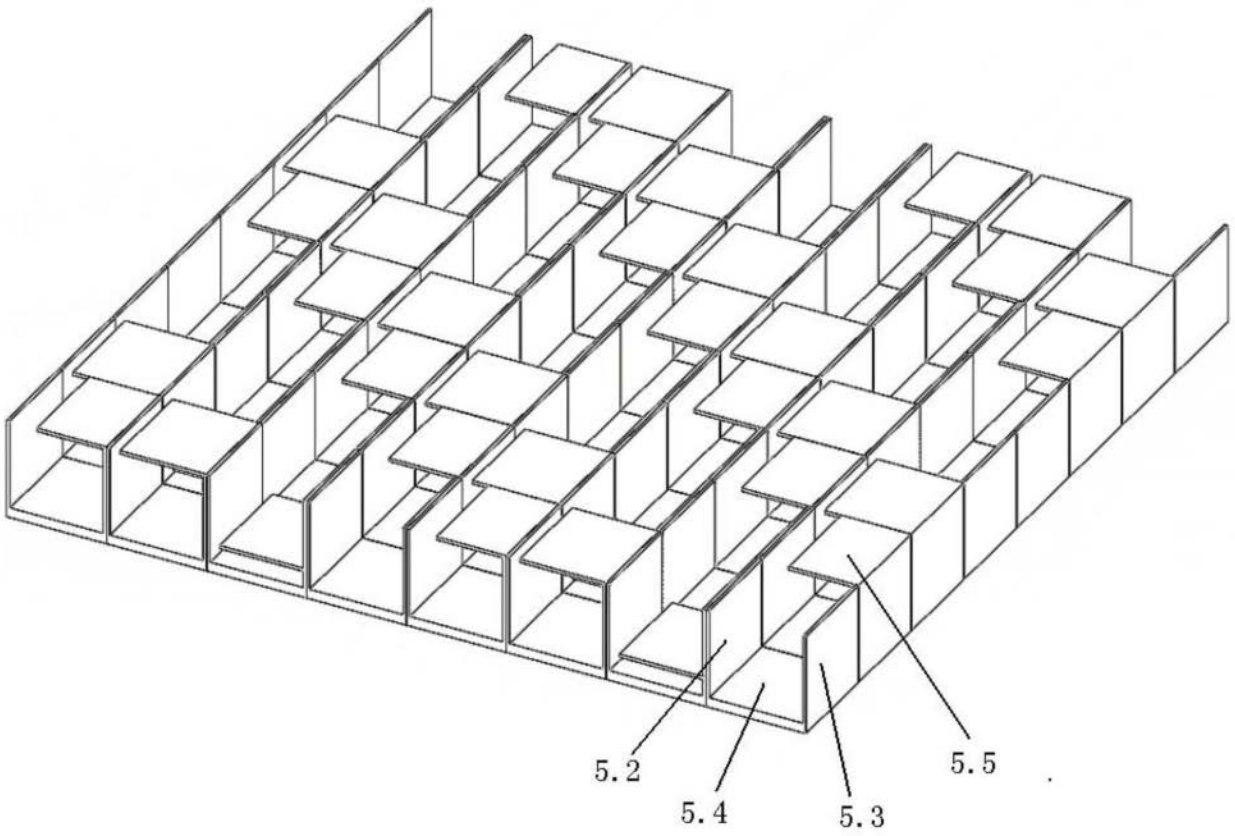


图3

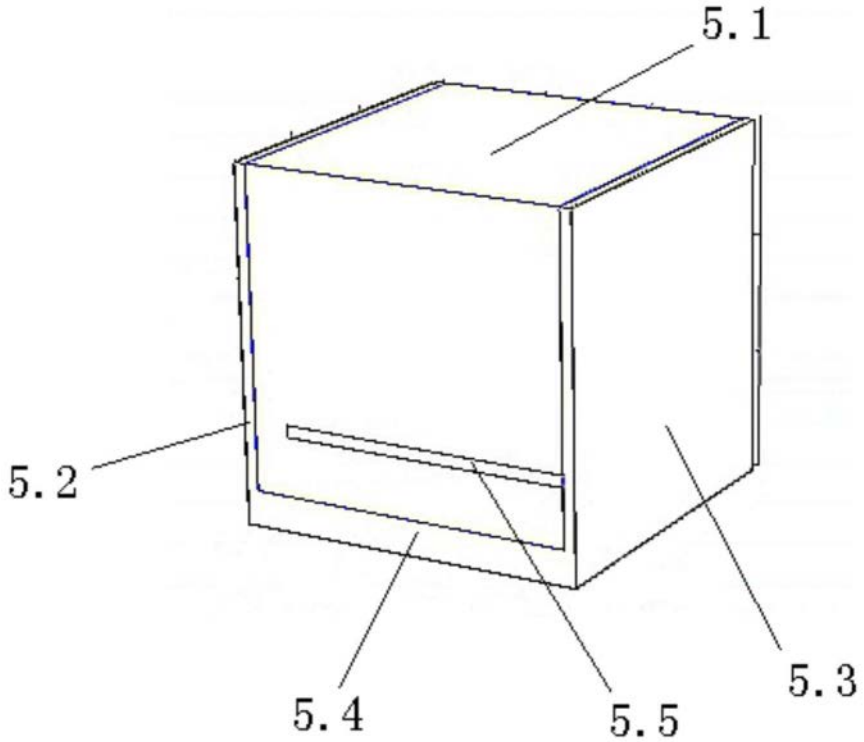


图4

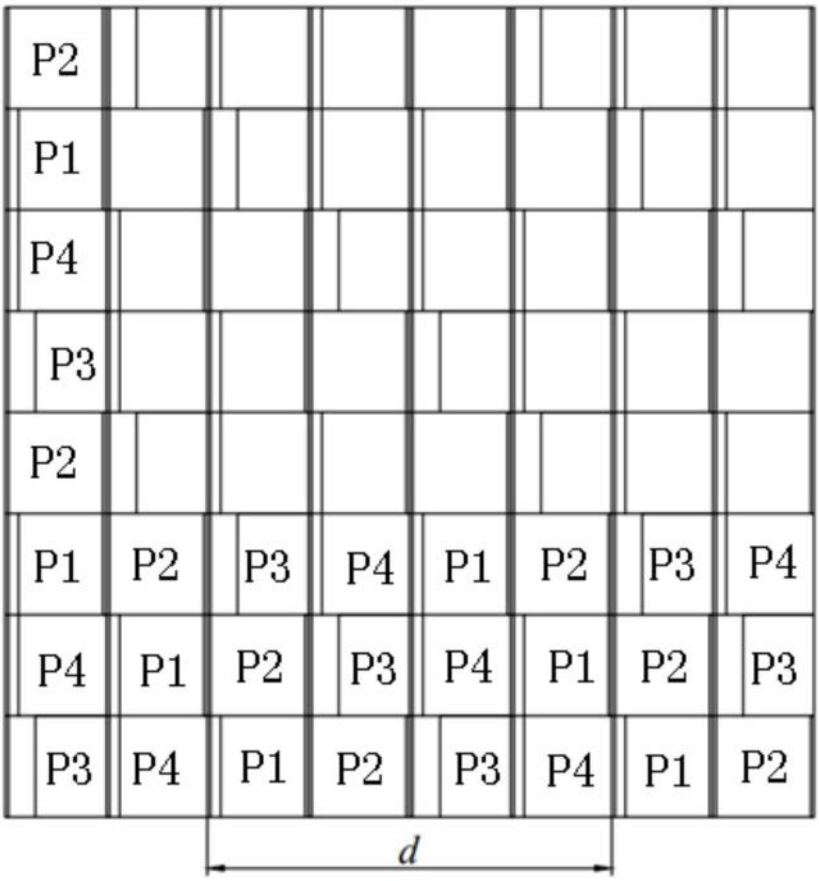

P2
P1
P4
P3
P2
P1 P2 P3 P4 P1 P2 P3 P4
P4 P1 P2 P3 P4 P1 P2 P3
P3 P4 P1 P2 P3 P4 P1 P2
d

图5

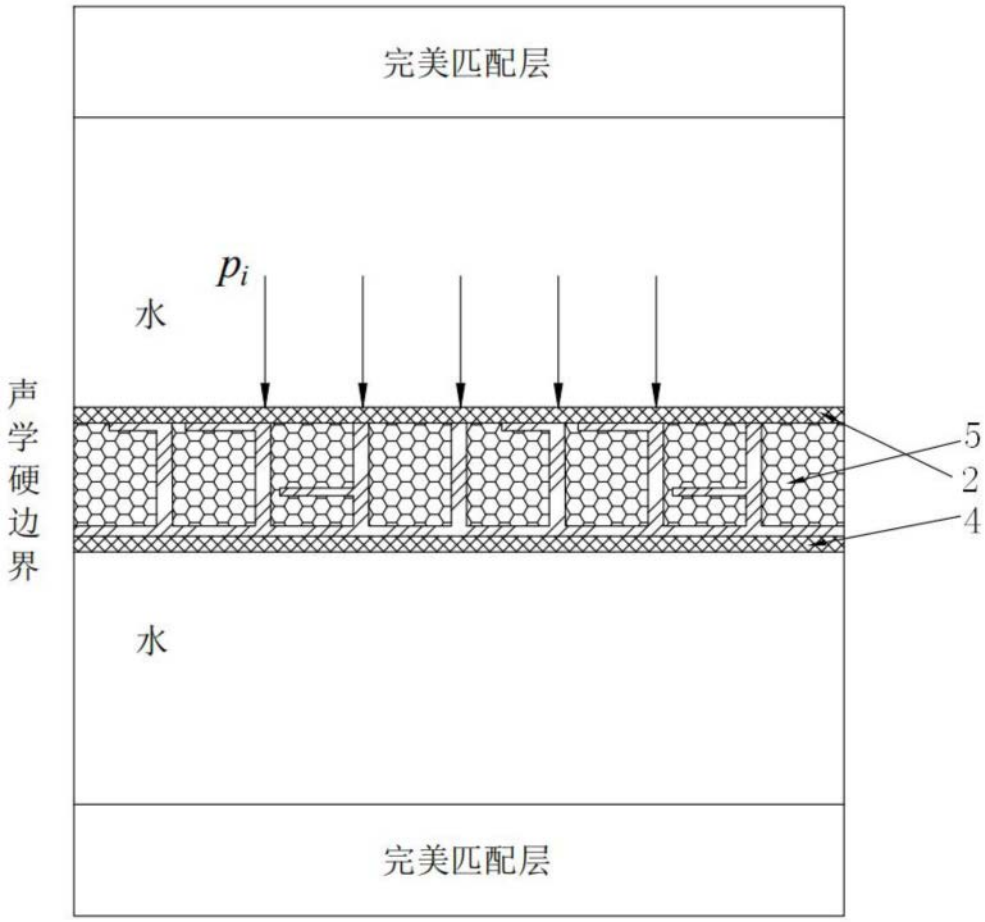


图6

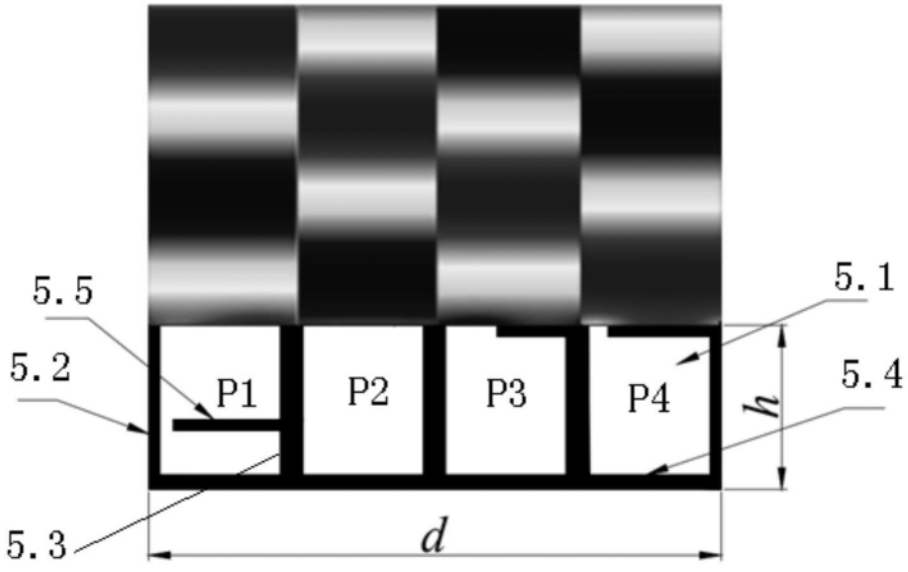


图7

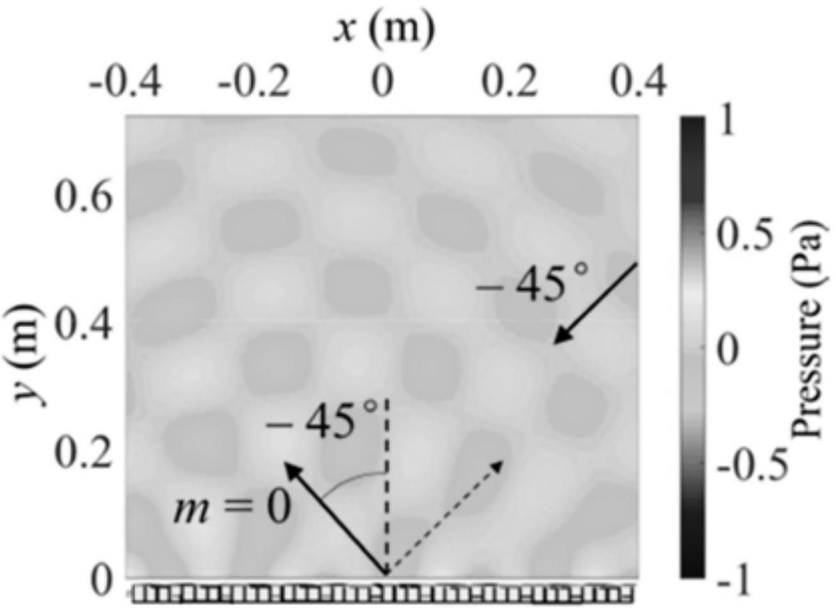

x (m)
-0.4
-0.2
0
0.2
0.4
0.6
0.4
0.2
0
y (m)
−45°
−45°
m = 0
1
0.5
0
-0.5
-1
Pressure (Pa)

图8

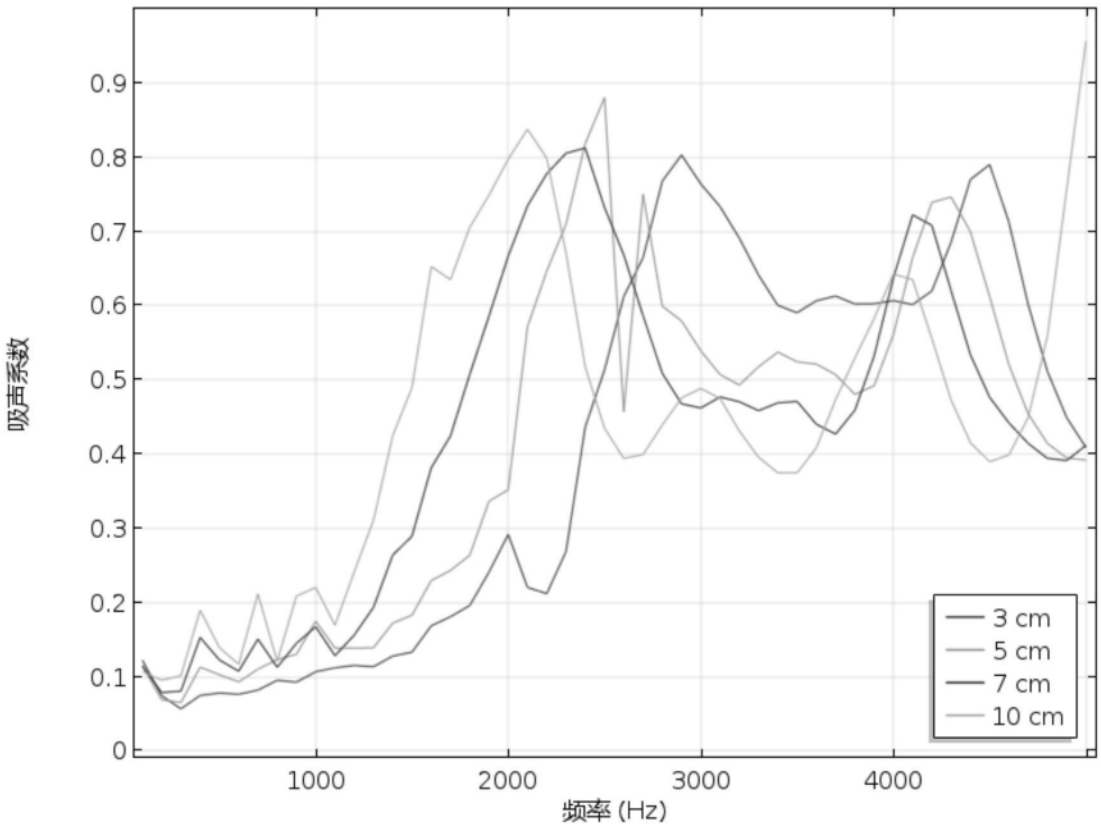

吸声系数
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
1000
2000
3000
4000
频率 (Hz)
3 cm
5 cm
7 cm
10 cm

图9

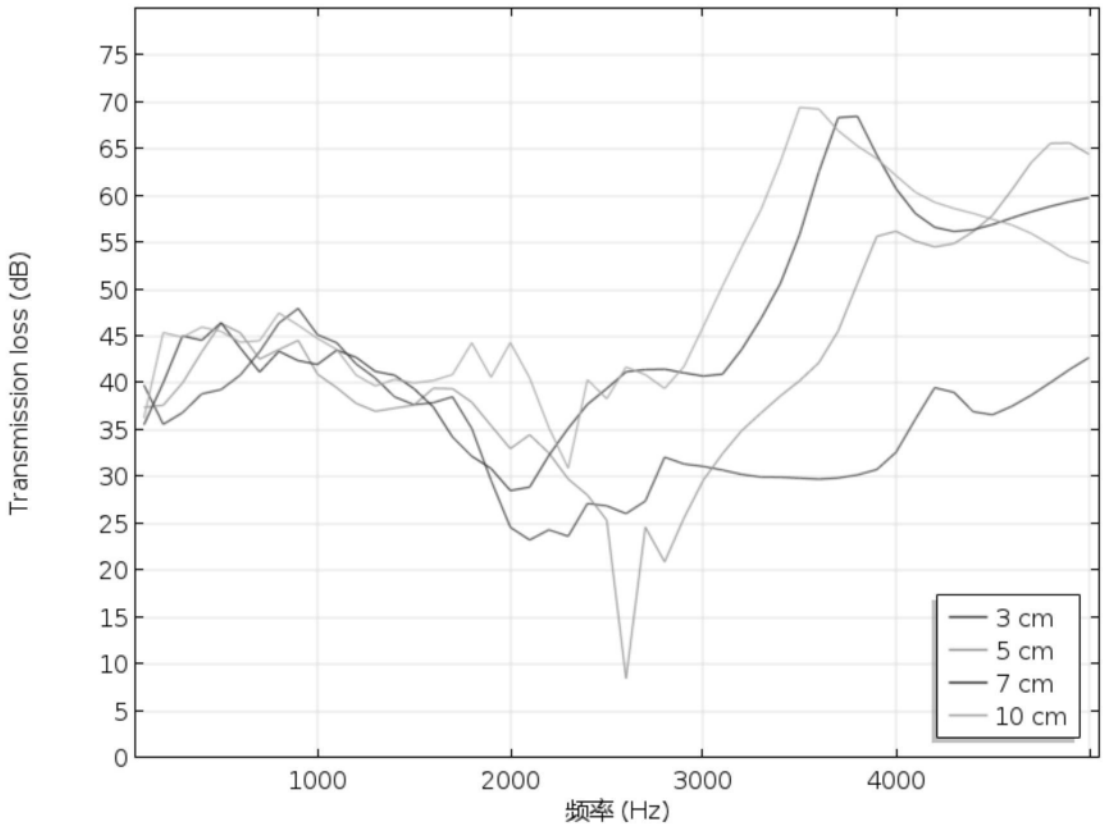

Transmission loss (dB)
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1000
2000
3000
4000
频率 (Hz)
3 cm
5 cm
7 cm
10 cm

图10

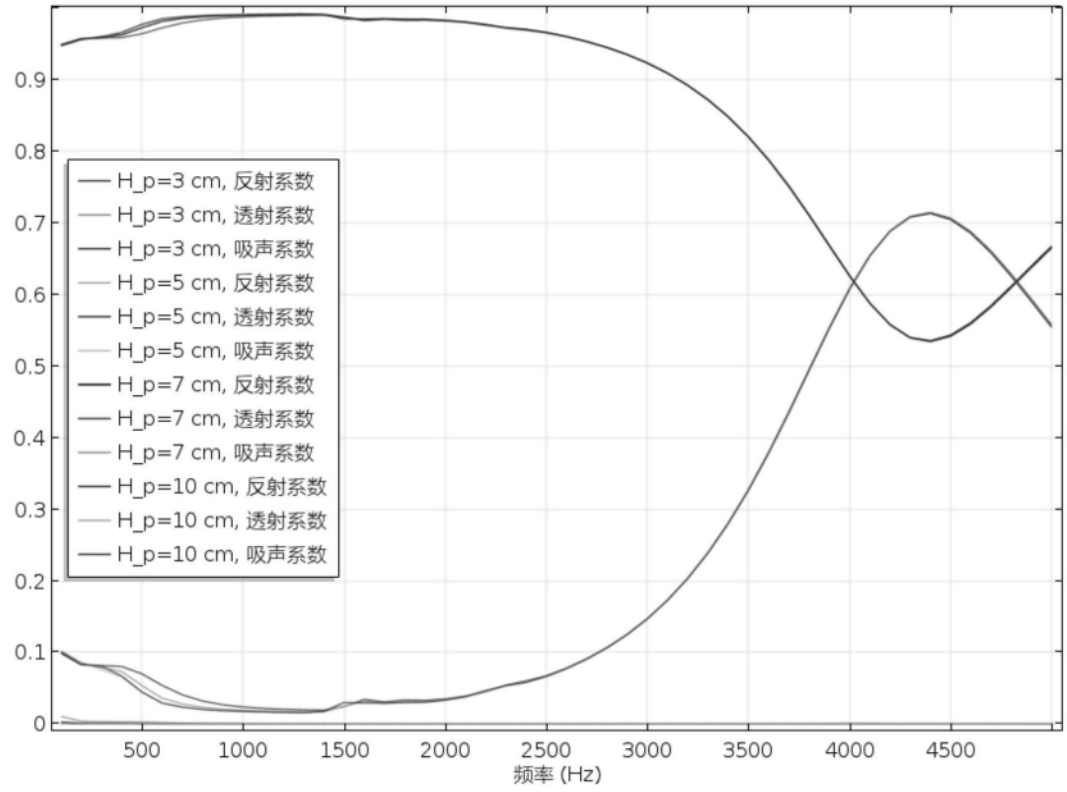

H_p=3 cm, 反射系数
H_p=3 cm, 透射系数
H_p=3 cm, 吸声系数
H_p=5 cm, 反射系数
H_p=5 cm, 透射系数
H_p=5 cm, 吸声系数
H_p=7 cm, 反射系数
H_p=7 cm, 透射系数
H_p=7 cm, 吸声系数
H_p=10 cm, 反射系数
H_p=10 cm, 透射系数
H_p=10 cm, 吸声系数
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
频率 (Hz)

图11