



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113823252 B

(45) 授权公告日 2023.12.19

(21) 申请号 202110990156.9

(22) 申请日 2021.08.26

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113823252 A

(43) 申请公布日 2021.12.21

(73) 专利权人 南京航空航天大学
地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街
29号

专利权人 西安交通大学

(72) 发明人 卢天健 辛锋先 于晨磊 段明宇

(74) 专利代理机构 江苏圣典律师事务所 32237
专利代理师 韩天宇

(51) Int. Cl.

G10K 11/162 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 112071295 A, 2020.12.11

JP 2004126487 A, 2004.04.22

CN 109763577 A, 2019.05.17

CN 111696504 A, 2020.09.22

JP H08160965 A, 1996.06.21

KR 20070048000 A, 2007.05.08

审查员 赵忆睿

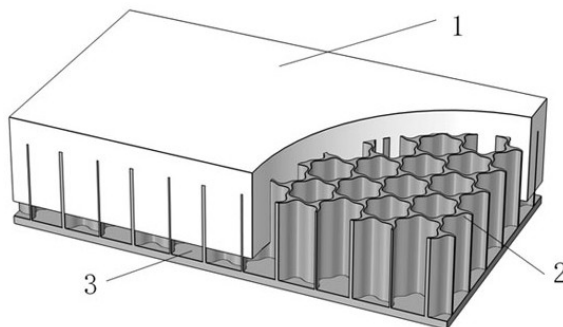
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构

(57) 摘要

本发明提供了一种花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构,包括底板,底板表面开有若干花瓣形通道,橡胶填充入花瓣形通道内部,橡胶与花瓣形通道之间形成花瓣形通道-橡胶复合结构,橡胶在花瓣形通道上表面形成均质橡胶层,橡胶和底板底部之间留有空气层。本发明可以很大程度提高粘弹性材料的吸声性能。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. 一种花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构,其特征在于:包括底板,底板表面开有若干花瓣形通道,橡胶填充入花瓣形通道内部,橡胶与花瓣形通道之间形成花瓣形通道-橡胶复合结构,橡胶在花瓣形通道上表面形成均质橡胶层,橡胶和底板底部之间留有空气层;所述的花瓣形通道由函数 $r(x)$ 确定,计算如下: $r(x)=r[1-2\epsilon\cos(nx)]$,其中 r 为基准孔径, ϵ 为相对粗糙度, n 为空间波数, x 为以轴向无量纲化坐标,基准孔径 r 为9~35 mm,对粗糙度 ϵ 为0~0.1,空间波数 n 为0~10。

2. 根据权利要求1所述的花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构,其特征在于:所述的花瓣形通道高度为10~50 mm,空气层厚度为1~10 mm,花瓣形通道-橡胶复合结构厚度为20~50 mm,均匀橡胶层厚度为1~10 mm。

3. 根据权利要求1所述的花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构,其特征在于:所述的花瓣形通道为四方排布或六方密排,排布周期为10~36 mm。

4. 根据权利要求1所述的花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构,其特征在于:所述的橡胶密度为800~1400 kg/m³,纵波声速为500~2000 m/s,纵波损耗因子为0.01~0.3;横波声速为30~300 m/s,横波损耗因子大于0.5。

5. 根据权利要求1所述的花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构,其特征在于:所述的花瓣形通道的壁面采用金属材料或碳纤维/玻璃纤维复合材料。

花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构

技术领域

[0001] 本发明涉及水下吸声复合结构技术领域,具体是一种花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构。

背景技术

[0002] 由于只有声波能够在水下进行长距离的传播,因此被广泛应用于水下信息传递与侦察。作为一种典型的反侦察方法,消声瓦主要被用于覆盖潜艇壳体,吸收敌方主动声呐所发射出的声波能量,能够降低声反射强度,减小可探测范围,达到隐身的目的。粘弹性材料,如橡胶和聚氨酯,由于其声阻抗与水相匹配,常被用作吸音层的基本材料。吸声机理在于入射声波引起粘弹性材料内部的聚合物链振动,分子内部的摩擦消耗了声能。然而,由于粘弹性材料在低频域固有的弱耗散性,对低频声音的吸收仍然是一个巨大的挑战。再加上水中的低频声波波长较长,要想利用原有的均匀粘弹性材料有效衰减低频吸声,唯一的办法就是增加材料的厚度,这与实际情况相互矛盾。目前主要的解决方法为是空腔共振结构式吸声层如Alberich消声层,即内部嵌入各种形状的孔腔。当入射声波的频率接近空腔的固有频率时,聚合物链的振动加剧,声能因分子内摩擦而严重耗散。但共振消声结构的吸声频带宽较窄,并且由于空腔对水压较为敏感,不能满足深海条件的实际需求。故目前对于水下宽带吸声结构以及耐水压吸声结构的设计依然存在挑战。

发明内容

[0003] 本发明为了解决现有技术的问题,提供了一种花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构,通过结构的合理设计提高吸声橡胶的水下吸声性能,解决了粘弹性材料宽频吸声性能较差的难题。

[0004] 本发明包括底板,底板表面开有若干花瓣形通道,橡胶填充入花瓣形通道内部,橡胶与花瓣形通道之间形成花瓣形通道-橡胶复合结构,橡胶在花瓣形通道上表面形成均质橡胶层,橡胶和底板底部之间留有空气层;所述的花瓣形通道由函数 $r(x)$ 确定,计算如下: $r(x) = r[1 - 2\epsilon \cos(nx)]$,其中 r 为基准孔径, ϵ 为相对粗糙度, n 为空间波数, x 为以轴向无量纲化坐标,基准孔径 r 为9~35mm,对粗糙度 ϵ 为0~0.1,空间波数 n 为0~10。

[0005] 花瓣形通道的壁面采用金属材料或碳纤维/玻璃纤维复合材料制得,以保证足够的刚度和与橡胶之间的声阻抗差异。

[0006] 进一步的,花瓣形通道由在均匀材料上开孔构成,高度为10~50mm。

[0007] 进一步的,花瓣形通道为四方排布或六方密排,排布周期为10~36mm。

[0008] 进一步的,花瓣形通道填充橡胶等粘弹性材料,不限于橡胶,密度为800~1400kg/m³。

[0009] 具体的,橡胶的横波声速为500~2000m/s,横波损耗因子为0.01~0.3;纵波声速为30~300m/s,纵波损耗因子大于0.5。

[0010] 进一步的,橡胶与底板之间设置空气层,厚度为1~10mm。

[0011] 进一步的,花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构上表面覆盖一层均匀橡胶,均质橡胶层的厚度为1~10mm。

[0012] 进一步的,花瓣形通道-橡胶复合层厚度为20~50mm。

[0013] 进一步的,花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构的整体厚度为30~60mm。

[0014] 进一步的,花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构在900~10000Hz的吸声系数大于0.8,平均吸声系数大于0.85。

[0015] 本发明一种花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构,花瓣形通道内部填充粘弹性水下吸声材料如橡胶等。由于花瓣形通道壁面与底板相连,并且刚性较大,故假设通道壁面不会因声波的扰动而振动。粘弹性材料在声波的激励下发生振动,由于花瓣形通道壁面的存在,靠近壁面的粘弹性材料振动受到约束,而远离壁面的材料振动相对比较剧烈,从而在粘弹性材料中产生很强的剪切作用。由于粘弹性材料的剪切损耗远大于压缩损耗,所以可以大幅度提升粘弹性材料的声波损耗能力。另一方面,橡胶与底板之间有空气层,空气层释放底部约束,增强橡胶的振动,进一步提升粘弹性材料的声波损耗能力。另一方面,花瓣形通道设计可增加壁面与橡胶的连接面的面积,增加能量损耗的面积,从而进一步提高能量损耗。另一方面,花瓣形通道壁面与底板连接,压力通过壁面传递到底面,使得结构具有一定的承载能力,进一步改善了结构的耐水压能力。

[0016] 进一步的,元胞单元的尺寸与花瓣形通道之间留有1~5mm余量,可以保证隔板的刚度使花瓣形通道壁面不随粘弹性材料一起振动。

[0017] 进一步的,元胞的宽度的选取与粘弹性材料的参数相关,两者之间相互配合从而实现良好的吸声性能。

[0018] 进一步的,橡胶的密度为800~1400kg/m³,在结构中起主要吸声作用。

[0019] 进一步的,粘弹性材料横波损耗因子为0.5及以上,以保证粘弹性材料与壁面之间有足够的粘滞作用,对声波能量具有足够的损耗能力。

[0020] 进一步的,为了保证花瓣形通道壁面与粘弹性材料之间的声阻抗失配,并且具有一定的承载能力,花瓣形通道壁面选取可以为钢、铝等金属或碳纤维及玻璃纤维等复合材料。

[0021] 进一步的,为了保证结构具有足够的吸声能力,花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构的总厚度为20~60mm。

[0022] 进一步的,为了提高花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构中橡胶的振动,在橡胶和底板之间内嵌以空气层,空气层的厚度为1~10mm。

[0023] 本发明有益效果在于:

[0024] 1、本发明的仿真计算结果在900~10000Hz吸声系数均在0.8以上,平均吸声系数达0.9以上,满足宽频段内有效吸声的要求;

[0025] 2、花瓣通道结构简单,与橡胶混合工艺简单,加工方便;

[0026] 3、通过改变花瓣通道结构参数以及材料参数可以改变整体结构的力学性能,适应不同场合下的要求。

[0027] 4、上层橡胶有效保护花瓣形通道结构不受海水腐蚀,并保持表面平整,有效降低表面阻力。

[0028] 综上所述,本发明一种花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构可以很大程度提高粘

弹性材料的吸声性能。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。

附图说明

- [0029] 图1为本发明水下吸声结构的示意图。
- [0030] 图2(a)为花瓣形通道俯视图。
- [0031] 图2(b)为六方密排俯视图。
- [0032] 图2(c)为六方密排正视图。
- [0033] 图3(a)为本发明水下吸声结构第一实施例的吸声系数示意图。
- [0034] 图3(b)为本发明水下吸声结构第二实施例的吸声系数示意图。
- [0035] 图3(c)为本发明水下吸声结构第三实施例的吸声系数示意图。
- [0036] 图4为花瓣形通道花瓣的形状随空间波数 n 和相对粗糙度 ε 的变化示意图。
- [0037] 其中:1. 橡胶;2. 花瓣形通道;3. 空气层。

具体实施方式

[0038] 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。

[0039] 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,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0040] 在附图中示出了根据本发明公开实施例的各种结构示意图。这些图并非是按比例绘制的,其中为了清楚表达的目的,放大了某些细节,并且可能省略了某些细节。图中所示出的各种区域、层的形状及它们之间的相对大小、位置关系仅是示例性的,实际中可能由于制造公差或技术限制而有所偏差,并且本领域技术人员根据实际所需可以另外设计具有不同形状、大小、相对位置的区域/层。

[0041] 本发明提供了一种花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构,通过在金属或碳纤维/玻璃纤维复合材料上开花瓣形通道,并将橡胶等粘弹性材料填充到花瓣形通道中凝固。橡胶底部设置空气层其提升橡胶振动。结构上表面覆盖纯橡胶覆盖层,保护花瓣形通道不受海水侵蚀。最终形成的结构相较于相同厚度的粘弹性材料,吸声性能得到了大幅度的提高,在很宽的频带范围内实现吸声系数大于0.8。并且所形成的结构在静水压下具有不易变形的性质,从而实现了一种既能抗静水压,又具有宽频吸声效果的水下吸声结构。

[0042] 请参阅图1和图2,本发明一种花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构,包括橡胶1和花瓣形通道2以及空气层3,花瓣形通道2通过在金属或碳纤维/玻璃纤维复合材料上开孔形

成。另外,橡胶底部设置空气层其提升吸声性能的作用。结构上表面覆盖一层纯橡胶覆盖层,起到保护花瓣形通道不受海水侵蚀的作用。构成的花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构中,花瓣形通道2的壁面起提升粘弹性材料吸声性能的作用以及传递水压等载荷,粘弹性材料1作为吸声材料用于吸收声波能量。

[0043] 其中,每个元胞的宽度 a (即相邻两个花瓣孔中心点之间的距离)为 $10 \sim 30\text{mm}$ 。

[0044] 粘弹性材料1的密度为 $800 \sim 1400\text{kg/m}^3$;横波声速为 $500 \sim 2000\text{m/s}$,横波损耗因子为 $0.01 \sim 0.3$;纵波声速为 $30 \sim 300\text{m/s}$,纵波损耗因子在 0.5 以上。

[0045] 花瓣形通道2壁面采用铁,铝等金属材料或碳纤维/玻璃纤维复合材料制得,为保证一定的承载能力和重量等要求,壁面最薄处大于 0.5mm 。

[0046] 花瓣形通道2由函数 $r(x)$ 确定,计算如下: $r(x) = r[1 - 2\varepsilon \cos(nx)]$ 。其中 r 为基准孔径, ε 为相对粗糙度, n 为空间波数, x 为以轴向无量纲化坐标。具体的,基准孔径 r 为 $9 \sim 35\text{mm}$,相对粗糙度 ε 为 $0 \sim 0.1$,空间波数 n 为 $0 \sim 10$ 。进一步的,花瓣形通道为四方排布或六方密排,排布周期为 $10 \sim 36\text{mm}$ 。花瓣形通道花瓣的形状随空间波数 n 和相对粗糙度 ε 的变化,如图4所示。

[0047] 空气层3内部为空气,厚度在 $1 \sim 10\text{mm}$ 。

[0048] 水下吸声结构的整体厚度为 $30 \sim 60\text{mm}$ 。

[0049] 本发明一种花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构可以实现 $900 - 10000\text{Hz}$ 之间具有良好的吸声效果,相对于相同厚度的粘弹性材料,吸声性能得到了大幅度提升。原因在于钢的模量远大于橡胶,相对于橡胶,钢板可看作刚性的。声波引起橡胶振动,由于与一种花瓣形通道壁面连接位置振动受到限制,在壁面附近产生强烈的剪切作用,从而将声波能量损耗掉。底部空气层释放底部对橡胶振动的约束,增加橡胶的振动,从而有效提高低频阶段结构的吸声性能。另外,本结构还满足在高静水压下维持吸声性能不易发生下降的要求;结构简单、可操作性强。

[0050] 实施例1

[0051] 金属钢:其特征是密度 7850kg/m^3 ,杨氏模量为 2.05GPa ,泊松比为 0.28 。

[0052] 粘弹性材料1:其特征是密度 1000kg/m^3 ,纵波波速 1000m/s ,纵波损耗因子为 0.3 ,横波波速为 100m/s ,横波损耗因子为 0.9 。

[0053] 水:其特征是密度 1000kg/m^3 ,声速 1500m/s 。

[0054] 空气:其特征是密度 1.29kg/m^3 ,声速 340m/s 。

[0055] 实施例结构尺寸:

[0056] 元胞尺寸: $a = 25\text{mm}$ 。半径: $r = 12\text{mm}$ 。空间波数: $n = 9$ 。相对粗糙度: $\varepsilon = 0.02$ 。空气层厚度: $h_1 = 2\text{mm}$ 。花瓣形通道-橡胶混合层厚度: $h_2 = 45\text{mm}$ 。上层纯橡胶覆盖层厚度: $h_3 = 1\text{mm}$ 。

[0057] 实施例2

[0058] 实施例用材料:

[0059] 金属钢:其特征是密度 7850kg/m^3 ,杨氏模量为 2.05GPa ,泊松比为 0.28 。

[0060] 粘弹性材料2:其特征是密度 1000kg/m^3 ,纵波波速 900m/s ,纵波损耗因子为 0.2 ,横波波速为 100m/s ,横波损耗因子为 0.9 。

[0061] 水:其特征是密度 1000kg/m^3 ,声速 1500m/s 。

[0062] 空气:其特征是密度 1.29kg/m^3 ,声速 340m/s 。

[0063] 实施例结构尺寸:

[0064] 花瓣形通道元胞尺寸: $a=31\text{mm}$ 。半径: $r=15\text{mm}$ 。空间波数: $n=8$ 。相对粗糙度: $\varepsilon=0.03$ 。空气层厚度: $h_1=3\text{mm}$ 。花瓣形通道橡胶混合层厚度: $h_2=4\text{mm}$ 。上层纯橡胶覆盖层厚度: $h_3=1\text{mm}$ 。

[0065] 实施例3

[0066] 实施例用材料:

[0067] 金属钢:其特征是密度 7850kg/m^3 ,杨氏模量为 2.05GPa ,泊松比为 0.28 。

[0068] 粘弹性材料3:其特征是密度 900kg/m^3 ,纵波波速 1200m/s ,纵波损耗因子为 0.3 ,横波波速为 80m/s ,横波损耗因子为 0.9 。

[0069] 水:其特征是密度 1000kg/m^3 ,声速 1500m/s 。

[0070] 空气:其特征是密度 1.29kg/m^3 ,声速 340m/s 。

[0071] 实施例结构尺寸:

[0072] 花瓣形通道元胞尺寸: $a=25\text{mm}$ 。半径: $r=12\text{mm}$ 。空间波数: $n=5$ 。相对粗糙度: $\varepsilon=0.03$ 。空气层厚度: $h_1=2\text{mm}$ 。花瓣形通道橡胶混合层厚度: $h_2=55\text{mm}$ 。上层纯橡胶覆盖层厚度: $h_3=2\text{mm}$ 。

[0073] 对照例1为与实施例等厚度的均匀橡胶材料,对照例2为圆形通道-橡胶复合水下吸声结构,总厚度保持一致。另外,实施例分别给出了四方排布和六方密排结构。为了保证对照的客观性,材料参数与实施例保持一致。

[0074] 采用以上材料和结构尺寸进行理论计算及数值模拟,给出了实施例和对比例的吸声系数对比如下:

[0075] 计算 $0\sim 10000\text{Hz}$ 之间两种结构以及均匀对照组的吸声系数。

[0076] 请参阅图3(a-c),其中黑色虚线表示等厚度均匀粘弹性材料的吸声系数,黑色点线表示圆形通道-橡胶复合水下吸声结构的吸声系数,黑色点划线表示四方排布花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构的吸声系数,黑实线代表六方密排花瓣形通道-橡胶复合水下吸声结构的吸声系数。从图中可以看出,相对于等厚度粘弹性材料,本发明所提出的吸声结构在 $0\sim 10000\text{Hz}$ 内都有大幅度的提升。具体表现如下:

[0077] 实施例1的吸声系数在 $900\sim 10000\text{Hz}$ 时均达到 0.8 以上,整个频率范围内平均吸声系数达 0.85 以上。花瓣形通道相对于圆形通道在 1800Hz 吸声系数提高 10% 。

[0078] 实施例2的吸声系数在 $600\sim 2000\text{Hz}$ 时均达到 0.8 以上,整个频率范围内平均吸声系数达 0.8 以上。花瓣形通道相对于圆形通道在 1000Hz 吸声系数提高 8% 。

[0079] 实施例3的吸声系数在 $600\sim 1800\text{Hz}$ 和 $5000\sim 10000\text{Hz}$ 时均达到 0.8 以上,整个频率范围内平均吸声系数达 0.75 以上。花瓣形通道相对于圆形通道在 1000Hz 吸声系数提高 5% 。

[0080] 结果表明,在参数取值范围内通过控制花瓣形通道尺寸及厚度以及选用不同物性参数的橡胶材料,均可实现宽频范围内的吸声性能的大幅度提升。其中,以实施例1的吸声带宽最宽,平均吸声系数最好。

[0081] 本发明具体应用途径很多,以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进,这些改进也应视为本发明的保护范围。

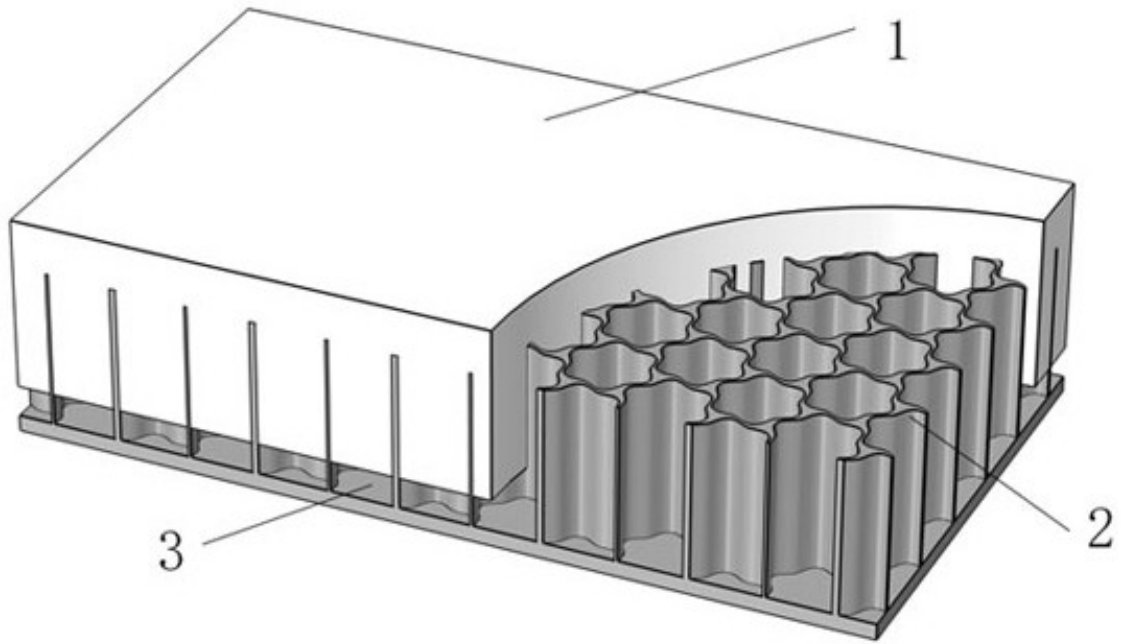


图1

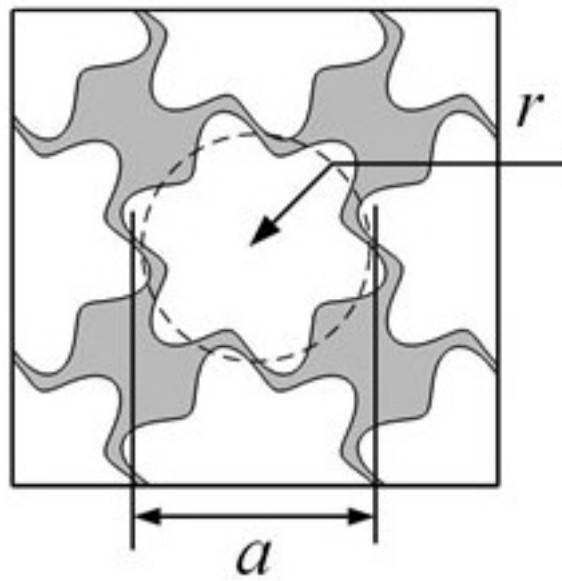


图2(a)

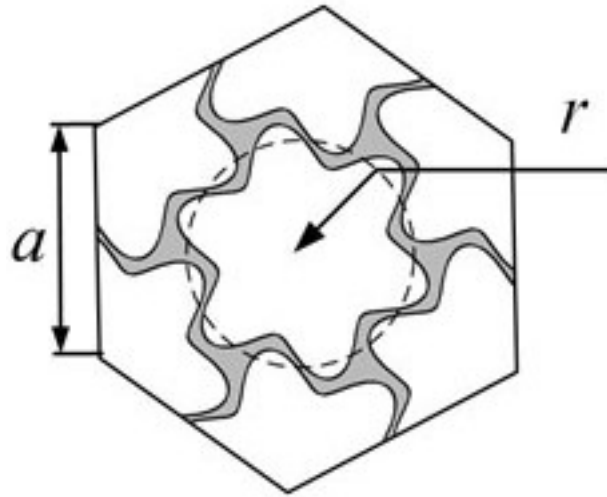


图2(b)

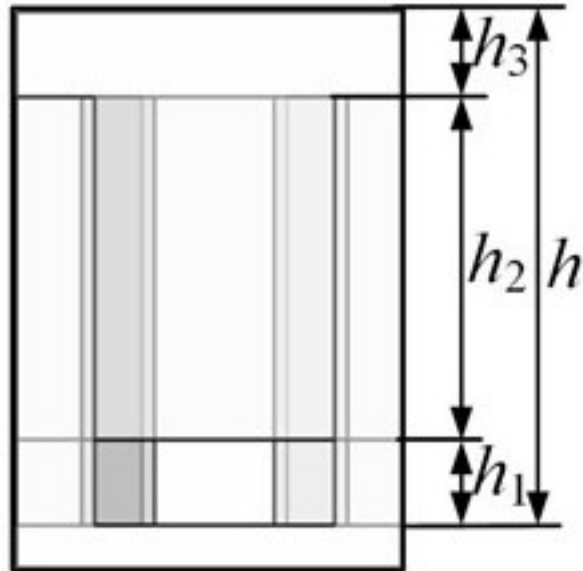


图2(c)

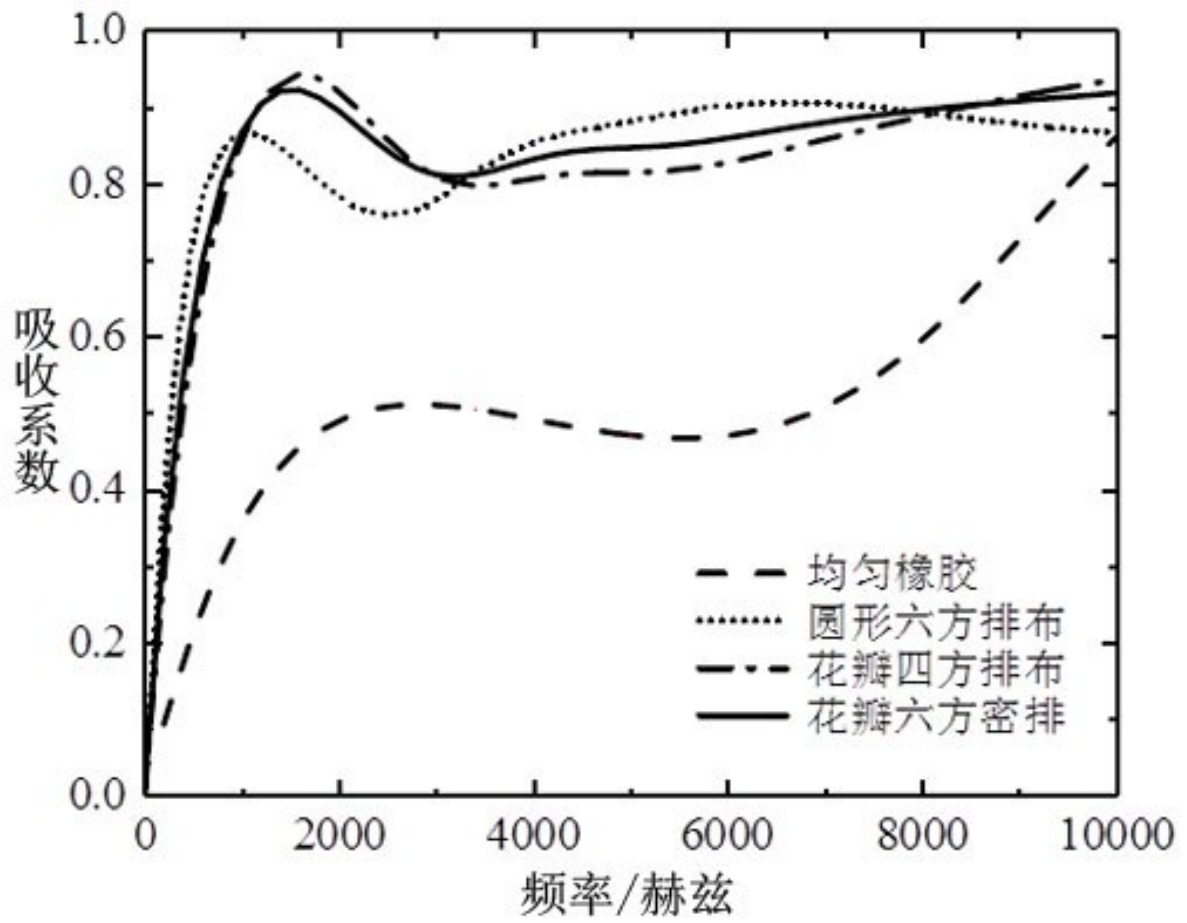


图3(a)

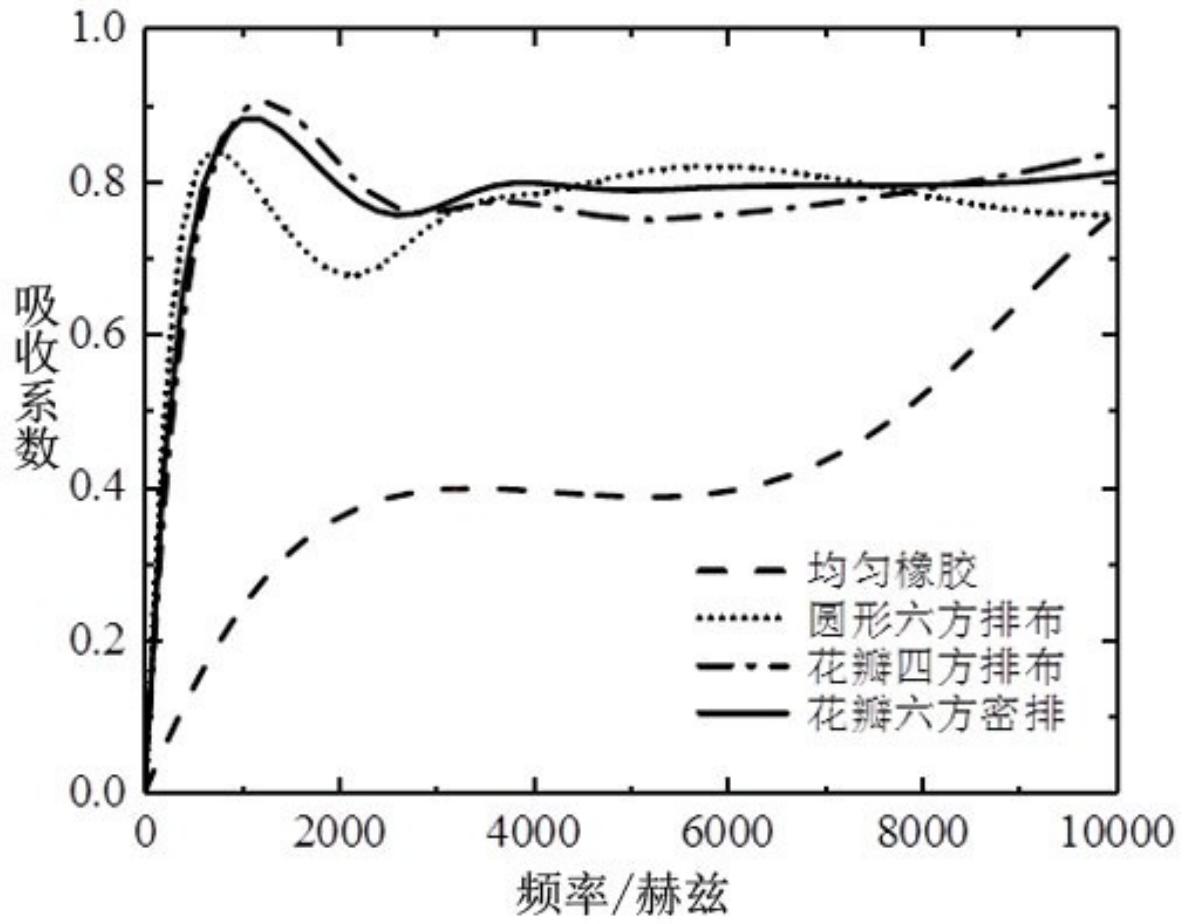


图3(b)

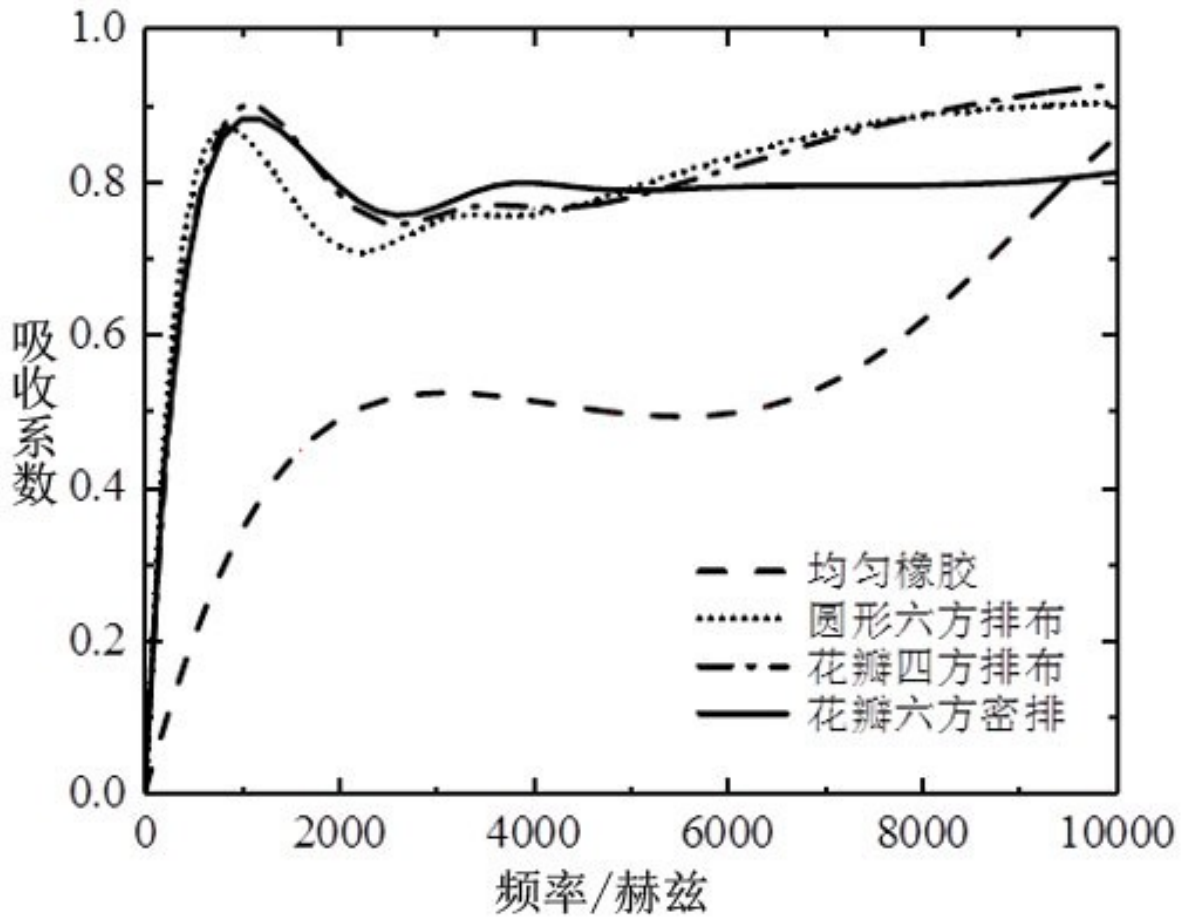


图3(c)

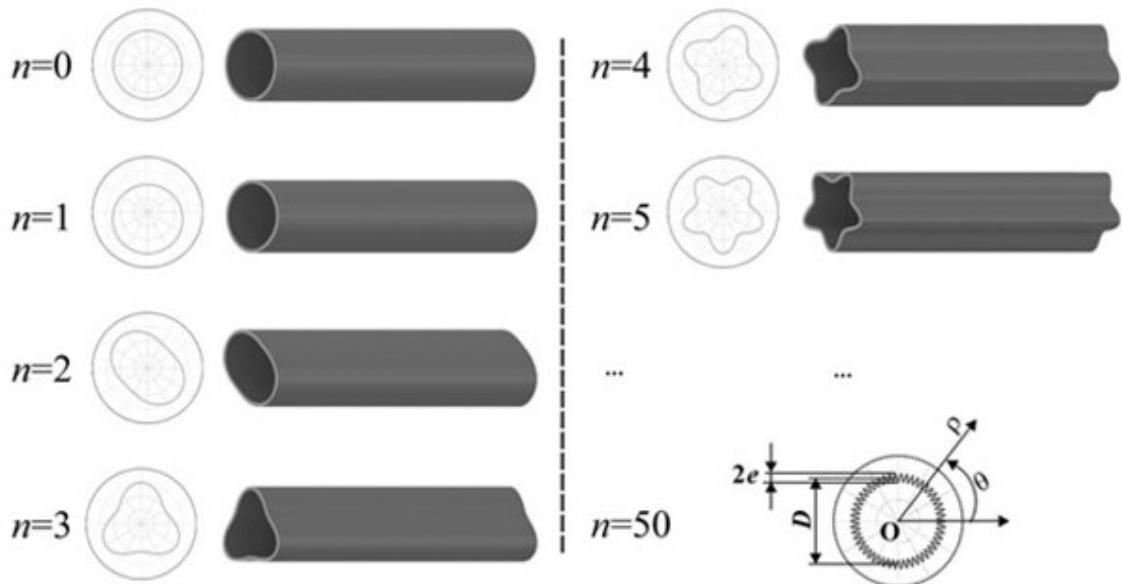


图4