(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 116817037 A
(43)申请公布日 2023.09.29

(21)申请号 202310783401.8
(22)申请日 2023.06.28
(71)申请人 华中科技大学
地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路1037号
(72)发明人 王婷 张靖宇 陈美霞 董文凯 黄樟凯 刘俊怡
(74)专利代理机构 武汉同誉知识产权代理有限公司 42320
专利代理师 于福
(51)Int.Cl.
F16L 9/21(2006.01)
F16L 55/033(2006.01)
F17D 5/00(2006.01)
G10K 11/16(2006.01)
G10K 11/172(2006.01)

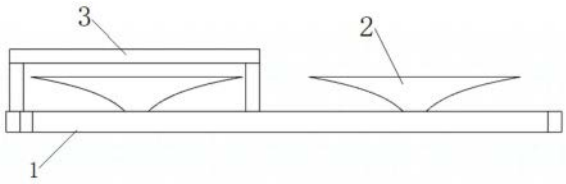
权利要求书2页 说明书9页 附图14页

(54)发明名称

周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构及设计方法

(57)摘要

本发明属于吸声管道技术领域，公开了一种周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构及设计方法，包括喇叭形声腔和管道；管道侧面连通有若干喇叭形声腔；若干喇叭形声腔包括周期性排布的硬边界喇叭状号筒和空气阻抗边界喇叭状号筒。本发明的管道喇叭状号筒可以实现多个吸声峰，且峰值较大，进而实现宽频吸声；增大管道喇叭口的蜿蜒指数，将会增加吸声峰的个数，可以通过控制喇叭口的蜿蜒指数来控制吸声峰的个数、位置，可以根据需要实现调频吸声；管道喇叭状号筒易于加工，能够较好的应用于工程实际中。本发明将不同开口边界条件的喇叭形声腔组合而成的声学管道结构，该周期管道在吸声量曲线上出现多个峰值，可以实现宽频吸声特性。



CN 116817037 A

1.一种周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构,其特征在于,包括:

喇叭形声腔和管道;

所述管道侧面连通有若干喇叭形声腔;

若干喇叭形声腔包括周期性排布的硬边界喇叭状号筒和空气阻抗边界喇叭状号筒。

2.如权利要求1所述的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构,其特征在于,喇叭状号筒由一个喇叭形腔连接一个短管组成。

3.如权利要求1所述的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构,其特征在于,进一步包括:

传感器:在管道和喇叭形声腔内部安装声压传感器和振动传感器,实时监测环境中的噪声水平和结构振动,传感器数据将实时传输至控制系统,作为调整吸声结构参数的依据;

控制系统:系统接收传感器数据并分析噪声和振动特性,基于这些数据,控制系统将计算出最佳的吸声结构参数,并自动调整喇叭形声腔的尺寸和空气阻抗边界喇叭状号筒的布局;

可调结构:为了使喇叭形声腔和空气阻抗边界喇叭状号筒能够根据控制系统的调整要求进行实时调整,采用电动驱动器、伸缩材料或其他可调节结构;可调结构根据控制系统的信号自动调整喇叭形声腔和空气阻抗边界喇叭状号筒的形状和尺寸;

人机交互界面:允许用户设定特定的噪声控制目标;人机交互界面还可以实时显示当前吸声管道的性能,如吸声系数、频率响应;

自适应算法:使得控制系统能够根据实时监测的噪声和振动数据自动学习和调整吸声结构参数,使吸声管道在不同工况下都能实现最佳的吸声性能。

4.一种用于权利要求1～3任意一项所述的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构的设计方法,其特征在于,所述周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构的设计方法包括:

步骤一,将喇叭状号筒控制方程应用到管道之中,进行计算;

步骤二,进行硬边界喇叭状号筒的吸声量计算,然后由号筒汇聚能量、传出能量的特性进行分析,将硬边界喇叭状号筒改为喇叭状出口处设为空气阻抗边界,计算其吸声量;

步骤三,将上述两种不同边界的喇叭状号筒进行组合,并计算其声学特性,组合单胞除了综合了两种号筒的吸声峰之外,还出现更低频的吸声峰,相比单个硬边界声号筒和单个带PML层的声号筒,组合声号筒更好的实现低频宽频吸声特性。

5.如权利要求4所述的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构的设计方法,其特征在于,所述喇叭状号筒外边长是由指数控制的,控制方程为$r(x)=\sqrt{\frac{S_0}{\pi}}e^{\frac{\delta}{2}x}$,其中$S_0$为喇叭状号筒喉部的面积,δ为蜿蜒指数,是决定截面积变化快慢的一个参数。

6.一种船体管道系统,其特征在于,所述船体管道系统设置有权利要求1～3任意一项所述的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构。

7.一种吸声降噪管道系统,其特征在于,所述吸声降噪管道系统设置有权利要求1～2任意一项所述的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构。

8.一种工厂车间管道系统,其特征在于,设置有周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构,具体实现如下:

系统结构:工厂车间管道系统包括空气输送管道、吊架、周期附加喇叭型声腔的可调吸

声管道结构以及智能控制系统;空气输送管道用于通风、排气和空调,吊架将空气输送管道固定在车间内;

喇叭型声腔的设置:在空气输送管道的外壁上周期性地设置若干喇叭形声腔,包括硬边界喇叭状号筒和空气阻抗边界喇叭状号筒;这些喇叭形声腔通过吸收管道内部的噪声,降低车间内的噪声水平;

传感器安装:在管道内部和车间内安装声压传感器和振动传感器,实时监测管道内外的噪声水平和结构振动;传感器数据将实时传输至智能控制系统,用于调整吸声结构参数;

智能控制系统:该系统接收传感器数据并分析噪声和振动特性,根据实时监测结果计算出最佳的吸声结构参数,并自动调整周期附加喇叭型声腔的尺寸和布局;此外,智能控制系统还可以接收来自生产线控制系统的信息,以便更准确地调整吸声结构参数;

可调结构:喇叭形声腔和空气阻抗边界喇叭状号筒采用电动驱动器、伸缩材料或其他可调节结构,根据智能控制系统的信号自动调整形状和尺寸,以达到最佳吸声效果;

人机交互界面:允许工厂管理人员设定特定的噪声控制目标,如预期的噪声削减水平、频率范围;人机交互界面还可以实时显示当前吸声管道的性能。

9.一种计算机可读存储介质,存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时,使得所述处理器执行如权利要求3～4任意一项所述的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构的设计方法的步骤。

10.一种信息数据处理终端,其特征在于,所述信息数据处理终端用于实现如权利要求3～4任意一项所述的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构的设计方法的步骤。

周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构及设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于吸声管道技术领域，尤其涉及一种周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构及设计方法。

背景技术

[0002] 目前，当今社会，噪声仍然是人们关注的一个十分重要的问题，它既会对人们的生活、生产产生不良影响且影响人们的身心健康，还会影响设备的性能。但消除噪声，尤其是消除低频噪声是十分困难的，本发明的设计是为了消除管道噪声，实现管道中宽频吸声的特性。

[0003] 管道系统在船体，工厂车间都十分常见，因此设计一个易于加工且吸声性能良好的声学管道对于噪声的降低具有十分重要的意义。现有吸声管道结构为在管道内壁涂有吸声材料或附着穿孔板等材料进行吸声，或者是在管道侧方延伸出Helmholtz共振声腔。在管道内壁涂有吸声材料原理是摩擦将声能转化为热能而耗散掉，从而使噪声随传播距离而减小。虽然阻性消声器被广泛应用于管道中来控制管道噪声，但其仍存在一些缺陷。阻性消声器在中高频时性能良好，但在低频时由于特性阻抗过高而失效。Helmholtz共振声腔虽然吸声效果较好，但目前关于Helmholtz共振声腔的改良结构均较复杂、质量较重。本方案设计出了一种具有可调性、宽频吸声、加工简单的喇叭型管道，较好地解决了管道吸声可调性差、吸声范围较小的问题。

[0004] 通过上述分析，现有技术存在的问题及缺陷为：

[0005] 1)吸声效果有限：现有的阻性消声器在中高频段性能良好，但在低频段由于特性阻抗过高而失效。这导致低频噪声难以消除，对人们的生活、工作环境和设备性能产生不良影响。

[0006] 2)可调性差：现有的吸声管道结构，如涂有吸声材料的内壁或附有穿孔板等材料，其吸声效果难以针对不同频率范围进行调整。这限制了现有管道系统在应对多种噪声源时的适应性。

[0007] 3)结构复杂：虽然Helmholtz共振声腔具有较好的吸声效果，但目前关于其改良结构的设计均较为复杂，加工难度大，且质量较重。这增加了管道系统的制造成本和维护成本。

[0008] 4)宽频吸声困难：现有技术在实现宽频吸声方面具有一定的局限性，难以满足不同应用场景中对宽频吸声的需求。

[0009] 5)空间占用和安装难度：现有的吸声管道结构往往需要额外的空间进行安装，如Helmholtz共振声腔在管道侧方延伸。这增加了系统的空间占用和安装难度，不利于在空间有限的场景中使用。

[0010] 针对这些问题，本发明设计出了一种具有可调性、宽频吸声、加工简单的喇叭型管道。通过引入周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构和智能控制系统，本发明在提高吸声效果的同时，实现了吸声可调性，有效解决了现有技术中存在的问题和缺陷。

发明内容

[0011] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构及设计方法。

[0012] 本发明是这样实现的,一种周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构包括:

[0013] 喇叭形声腔和管道;

[0014] 所述管道侧面连通有若干喇叭形声腔;

[0015] 若干喇叭形声腔包括周期性排布的硬边界喇叭状号筒和空气阻抗边界喇叭状号筒。

[0016] 进一步,喇叭状号筒由一个喇叭形腔连接一个短管组成。

[0017] 进一步包括:

[0018] 传感器:在管道和喇叭形声腔内部安装声压传感器和振动传感器,实时监测环境中的噪声水平和结构振动。传感器数据将实时传输至控制系统,作为调整吸声结构参数的依据。

[0019] 控制系统:系统接收传感器数据并分析噪声和振动特性。基于这些数据,控制系统将计算出最佳的吸声结构参数,并自动调整喇叭形声腔的尺寸和空气阻抗边界喇叭状号筒的布局。

[0020] 可调结构:为了使喇叭形声腔和空气阻抗边界喇叭状号筒能够根据控制系统的调整要求进行实时调整,采用电动驱动器、伸缩材料或其他可调节结构。这些可调结构将根据控制系统的信号自动调整喇叭形声腔和空气阻抗边界喇叭状号筒的形状和尺寸,以达到最佳吸声效果。

[0021] 人机交互界面:允许用户设定特定的噪声控制目标;人机交互界面还可以实时显示当前吸声管道的性能,如吸声系数、频率响应。

[0022] 自适应算法:使得控制系统能够根据实时监测的噪声和振动数据自动学习和调整吸声结构参数。这将使吸声管道在不同工况下都能实现最佳的吸声性能。

[0023] 本发明的另一目的在于提供一种周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构的设计方法,所述周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构的设计方法包括:

[0024] 步骤一,将喇叭状号筒控制方程应用到管道之中,进行有限元建模;

[0025] 步骤二,进行硬边界喇叭状号筒的吸声量计算,然后由号筒汇聚能量、传出能量的特性进行分析,为便于更好的模拟喇叭状号筒将声音从管道汇聚出去,将硬边界喇叭状号筒改为喇叭状出口处设为空气阻抗边界,计算其吸声量;

[0026] 步骤三,将上述两种不同边界的喇叭状号筒进行组合,并计算其声学特性,组合单胞除了综合了两种号筒的吸声峰之外,还出现更低频的吸声峰,相比单个硬边界声号筒和单个带PML层的声号筒,组合声号筒更好的实现低频宽频吸声特性。

[0027] 进一步,所述喇叭状号筒外边长是由指数控制的,控制方程为$r(x)=\sqrt{\frac{S_0}{\pi}}e^{\frac{\delta}{2}x}$,其中$S_0$为喇叭状号筒喉部的面积,δ为蜿蜒指数,是决定截面积变化快慢的一个参数。

[0028] 结合上述的技术方案和解决的技术问题,本发明所要保护的技术方案所具备的优点及积极效果为:

[0029] 第一、本发明的管道喇叭状号筒可以实现多个吸声峰,且峰值较大,进而实现宽频

吸声。

[0030] 本发明增大管道喇叭口的蜿蜒指数，将会增加吸声峰的个数，可以通过控制喇叭口的蜿蜒指数来控制吸声峰的个数、位置，可以根据需要实现调频吸声。

[0031] 本发明的管道喇叭状号筒易于加工，能够较好的应用于工程实际中。

[0032] 本发明将不同开口边界条件的喇叭形声腔组合而成的声学管道结构，该周期管道在吸声量曲线上出现多个峰值，可以实现宽频吸声特性。喇叭形声腔由一个喇叭形腔连接一个短管组成，通过简化可以直接计算其共振频率，在该共振频率下，其吸声效果很好。

[0033] 本发明的喇叭形腔体具有易汇聚能量，传输能量的特性，所以设计出了一种简单、可调节的喇叭形管道声腔，它可用于各种管道系统噪声的控制。

[0034] 第二，本发明同时包含喇叭型声腔和弹性平板，具有实现宽频吸声、可调吸声的技术效果和优点，通过宽频吸声，实现了对于噪声的控制，较少噪声传入到人耳中，避免噪声对人身心健康造成影响。本发明易于加工，可应用于工程实践之中。

[0035] 第三，作为本发明的权利要求的创造性辅助证据，还体现在以下几个重要方面：

[0036] (1)本发明的技术方案转化后的预期收益和商业价值为：

[0037] 本发明技术转化后可以弥补管道噪声处理不足的问题，较好地实现宽频吸声，可以改善设备的运行情况，改善人们的工作状态、身心健康，减少噪声污染，提高人们工作的效率。本发明技术转化后可以较好地应用到工程实际，改善设备工作状态，避免设备过度损耗；改善人们的身心健康，提高企业工作效率，在同等的劳动时间下创造更多的价值。

[0038] (2)本发明的技术方案填补了国内外业内技术空白：

[0039] 本发明的技术方案提供了一种结构简单、容易制造的可根据需要调节吸声频段的周期附加喇叭型声腔的声管道结构。

[0040] (3)本发明的技术方案是否解决了人们一直渴望解决、但始终未能获得成功的技术难题：

[0041] 本发明较好地解决了人们对于减少管道噪声的渴望，本发明不仅能实现宽频吸声，还能实现针对不同频段吸声的可调性。本发明易于加工，可以较好地应用到工程实际中。本发明出于人们对于安静工作的角度考虑，提出了一种应用于降低管道噪声的周期附加喇叭型声腔用于消除噪声。

[0042] (4)本发明的技术方案是否克服了技术偏见：

[0043] 消声器由于其简单、高效的特点广泛应用于管道中。管道中应用的消声器多为阻性消声器和抗性消声器。阻性消声器是利用声波在多孔吸声材料或者吸声结构中传播，摩擦将声能转化为热能而耗散掉，从而使噪声随传播距离而减小。虽然阻性消声器被广泛应用于管道中来控制管道噪声，但其仍存在一些缺陷。阻性消声器在中高频时性能良好，但在低频时由于特性阻抗过高而失效。其次，以多孔吸声材料为主的阻性消声器会出现灰尘积累和细菌滋生等问题，且其材料易腐蚀，因此限制了其使用范围。抗性消声器由突变界面的管和室组成，对低频及中低频段的噪声控制效果较好，且其不使用多孔吸声材料，因此在高温、腐蚀等较恶劣环境下寿命更长。而本发明所提出的周期附加喇叭型声腔属于抗性消声器。

附图说明

[0044] 图1是本发明实施例提供的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构的结构示意图；

[0045] 图2是本发明实施例提供的参数化曲线为$10e^{0.015s}$的硬边界模型示意图；

[0046] 图3是本发明实施例提供的参数化曲线为$10e^{0.035s}$的硬边界模型示意图；

[0047] 图4是本发明实施例提供的参数化曲线为$10e^{0.05s}$的硬边界模型示意图；

[0048] 图5是本发明实施例提供的不同参数化曲线硬边界声号筒吸声曲线；

[0049] 图6是本发明实施例提供的参数化曲线为$10e^{0.025s}$的硬边界声号筒模型的吸声峰值响应云图举例(a):941Hz、(b):3301Hz；

[0050] 图7是本发明实施例提供的不同参数化曲线硬边界声号筒吸声曲线；

[0051] 图8是本发明实施例提供的参数化曲线为$10e^{0.035s}$的硬边界声号筒模型的吸声峰值响应云图举例(a):741Hz、(b):1621Hz；

[0052] 图9是本发明实施例提供的不同参数化曲线硬边界声号筒吸声曲线；

[0053] 图10是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的硬边界声号筒模型带隙；

[0054] 图11是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的硬边界声号筒模型吸声曲线；

[0055] 图12是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的硬边界声号筒的吸声峰值响应云图举例:761Hz；

[0056] 图13是本发明实施例提供的不同参数化曲线声号筒带PML层吸声曲线；

[0057] 图14本发明实施例提供的参数化曲线为$10e^{0.025s}$的PML层声号筒模型的吸声峰值响应云图举例(a):2181Hz、(b):4101Hz；

[0058] 图15是本发明实施例提供的不同参数化曲线声号筒带PML层吸声曲线；

[0059] 图16本发明实施例提供的参数化曲线为$10e^{0.035s}$的PML层声号筒模型的吸声峰值响应云图举例(a):2061Hz、(b):3021Hz；

[0060] 图17是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层声号筒模型示意图；

[0061] 图18是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层声号筒模型带隙；

[0062] 图19是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层声号筒模型吸声曲线；

[0063] 图20本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层声号筒模型的吸声峰值响应云图举例:521Hz

[0064] 图21是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层和硬边界声号筒单胞模型示意图；

[0065] 图22是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层和硬边界声号筒单胞模型吸声曲线；

[0066] 图23是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层和硬边界声号筒模型的吸声峰值响应云图举例(a):741Hz、(b):1621Hz；

[0067] 图24是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层和硬边界声号筒模型带隙；

[0068] 图25是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层和硬边界声号筒模型吸声曲线；

[0069] 图26是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层和硬边界声号筒模型的吸声峰值响应云图举例:941Hz；

[0070] 图27是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的硬边界声号筒单胞模型实物图；

[0071] 图28是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的硬边界声号筒单胞模型3D示意图；

[0072] 图29是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的PML层声号筒单胞模型实物图；

[0073] 图30是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的PML层声号筒单胞模型3D示意图；

[0074] 图31是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的组合单胞模型实物图；

[0075] 图32是本发明实施例提供的周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的组合单胞模型3D示意图；

[0076] 图中：1、管道；2、硬边界喇叭状号筒；3、空气阻抗边界喇叭状号筒。

具体实施方式

[0077] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0078] 本发明实施例提供了一种周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构。该结构包括管道1、硬边界喇叭状号筒2和空气阻抗边界喇叭状号筒3。

[0079] 具体连接关系如下：管道1的一端连接着硬边界喇叭状号筒2的入口，硬边界喇叭状号筒2的出口连接着空气阻抗边界喇叭状号筒3的入口，空气阻抗边界喇叭状号筒3的出口则连接着管道1的另一端。

[0080] 该结构的工作原理如下：当声波从管道1中传输到硬边界喇叭状号筒2时，声波的能量将会部分反射回管道1中，同时部分能量将会进入空气阻抗边界喇叭状号筒3中。在空气阻抗边界喇叭状号筒3中，声波将会受到阻抗匹配的影响，使得部分能量将会被吸收，从而降低声波的反射和传输。最终，管道中的声波能量将会得到有效的吸收，从而实现较好的吸声效果。

[0081] 该结构的可调性体现在，通过调节空气阻抗边界喇叭状号筒3的入口和出口的截面积、长度等参数，可以调节结构的吸声效果。

[0082] 本发明实施例提供的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构，可以通过智能化技术进行优化，提高吸声性能和实用性。具体实现如下：

[0083] 1)添加传感器：在管道和喇叭形声腔内部安装声压传感器和振动传感器，实时监

测环境中的噪声水平和结构振动。传感器数据将实时传输至控制系统，作为调整吸声结构参数的依据。

[0084] 2)控制系统：开发一个集成的智能控制系统，该系统能够接收传感器数据并分析噪声和振动特性。基于这些数据，控制系统将计算出最佳的吸声结构参数，并自动调整喇叭形声腔的尺寸和空气阻抗边界喇叭状号筒的布局。

[0085] 3)可调结构：为了使喇叭形声腔和空气阻抗边界喇叭状号筒能够根据控制系统的调整要求进行实时调整，可以采用电动驱动器、伸缩材料或其他可调节结构。这些可调结构将根据控制系统的信号自动调整喇叭形声腔和空气阻抗边界喇叭状号筒的形状和尺寸，以达到最佳吸声效果。

[0086] 4)人机交互界面：开发一个人机交互界面，允许用户设定特定的噪声控制目标，如预期的噪声削减水平、频率范围等。此外，人机交互界面还可以实时显示当前吸声管道的性能，如吸声系数、频率响应等。

[0087] 5)自适应算法：设计自适应算法，使得控制系统能够根据实时监测的噪声和振动数据自动学习和调整吸声结构参数。这将使吸声管道在不同工况下都能实现最佳的吸声性能。

[0088] 通过以上智能化改进，周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构将具有更高的吸声性能和实用价值。这种智能化吸声管道结构可广泛应用于建筑、交通、工业等各领域，有效降低环境噪声，提高人们的生活和工作环境质量。

[0089] 如图1所示，本发明实施例提供的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构包括喇叭形声腔和管道1；

[0090] 所述管道1侧面连通有若干喇叭形声腔；

[0091] 若干喇叭形声腔包括周期性排布的硬边界喇叭状号筒2和空气阻抗边界喇叭状号筒3。

[0092] 本发明实施例中的喇叭状号筒由一个喇叭形腔连接一个短管组成。

[0093] 本发明实施例的工作原理：

[0094] 1.喇叭状号筒可以汇聚声波能量将声音更远、更广泛的传输出去，由喇叭状号筒受到启发，将喇叭状号筒应用到管道降噪当中，可以将此应用到工业当中，减少工程中的管道噪声，将声音通过喇叭状管道传输到空旷的场地，可以高效率的避免管道声音传输到车间中的人们耳中。喇叭状号筒外边长是由指数控制的，其控制方程为$r(x)=\sqrt{\frac{S_0}{\pi}}e^{\frac{\delta}{2}x}$，其中$S_0$为号筒喉部的面积，δ称为蜿蜒指数，是决定截面积变化快慢的一个参数。得到喇叭状号筒控制方程后，将其应用到管道之中，进行计算。

[0095] 2.设计初期，进行了硬边界喇叭状号筒的吸声量计算，由计算结果可知吸声效果较好，然后又由号筒汇聚能量、传出能量的特性进行分析，将硬边界喇叭状号筒改为喇叭状出口处设为空气阻抗边界，计算其吸声量，由计算结果可知吸声效果较好。

[0096] 3.进行了上述步骤3两种方案设计之后，为进一步提升结构吸声性能，将上述步骤3两种不同边界的喇叭状号筒进行组合，并计算其声学特性，发现组合单胞除了综合了步骤3中两种号筒的吸声峰之外，还出现了更低频的吸声峰。相比步骤3中的单个硬边界声号筒和单个带PML层的声号筒，组合声号筒能更好的实现了低频宽频吸声特性。

[0097] 4.将步骤4中的组合声号筒沿着管道进行周期性排布,计算周期管道的吸声特性,发现其吸声曲线除了在原有的单胞吸声峰值频点处出现吸声峰外,还在其他频点处出现较矮的吸声峰。其次,周期管道的吸声峰值在某些频点能达到550dB,说明此周期管道能够实现较好的吸声效果。

[0098] 本发明实施例中的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构的设计方法包括:

[0099] 步骤一,将喇叭状号筒控制方程应用到管道之中,进行计算;

[0100] 步骤二,进行硬边界喇叭状号筒的吸声量计算,然后由号筒汇聚能量、传出能量的特性进行分析,将硬边界喇叭状号筒改为喇叭状出口处设为空气阻抗边界,计算其吸声量;

[0101] 步骤三,将上述两种不同边界的喇叭状号筒进行组合,并计算其声学特性,组合单胞除了综合了两种号筒的吸声峰之外,还出现更低频的吸声峰,相比单个硬边界声号筒和单个带PML层的声号筒,组合声号筒更好的实现低频宽频吸声特性。

[0102] 本发明实施例中的喇叭状号筒外边长是由指数控制的,控制方程为$r(x)=\sqrt{\frac{S_0}{\pi}}e^{\frac{\delta}{2}x}$,其中$S_0$为喇叭状号筒喉部的面积,δ为蜿蜒指数,是决定截面积变化快慢的一个参数。

[0103] 一种船体管道系统,设置有所述的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构。

[0104] 一种工厂车间管道系统,设置有所述的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构。

[0105] 一种吸声降噪管道系统,设置有所述的周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构。

[0106] 以下是本发明的六个具体的实施例,展示了周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构在不同应用场景中的实际应用:

[0107] 实施例1:建筑声学

[0108] 在大型公共建筑(如音乐厅、剧院等)中,周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构可以安装在墙壁、天花板或地板上,以消除室内回声、提高音质并降低噪声传播。智能控制系统可以根据演出类型和观众分布自动调整吸声结构参数,实现最佳声学效果。

[0109] 实施例2:交通噪声控制

[0110] 在道路、铁路或地铁沿线设置周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构,以吸收交通噪声并减轻周围居民的噪声影响。智能控制系统可以实时监测交通流量和噪声特性,根据需要自动调整吸声结构参数。

[0111] 实施例3:工业噪声控制

[0112] 在工厂或生产车间中,周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构可用于降低设备噪声、保护员工听力。智能控制系统可以实时监测设备运行状态和噪声水平,自动调整吸声结构参数,以优化噪声控制效果。

[0113] 实施例4:航空噪声控制

[0114] 在飞机客舱内安装周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构,以降低发动机噪声和空气流动噪声,提高乘客舒适度。智能控制系统可以根据飞行状态(如起飞、巡航、降落等)自动调整吸声结构参数,实现最佳噪声控制效果。

[0115] 实施例5:家庭隔音

[0116] 在家庭墙壁、天花板或地板中安装周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构,以

隔绝邻居或外部噪声，提高居住舒适度。智能控制系统可以根据用户需求和噪声水平自动调整吸声结构参数。

[0117] 实施例6：汽车隔音

[0118] 在汽车车厢内部安装周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构，以降低发动机、风噪和道路噪声，提高乘客舒适度。智能控制系统可以根据行驶状态和速度自动调整吸声结构参数，实现最佳隔音效果。

[0119] 这六个实施例展示了周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构在不同场景下的广泛应用潜力，有助于改善人们的生活和工作环境。

[0120] 本发明实施例在研发或者使用过程中取得了一些积极效果，和现有技术相比的确具备很大的优势，下面内容结合试验过程的数据、图表等进行描述。

[0121] 图2至图4为不同参数化曲线的应边界模型示意图；图5、图7、图9为不同参数化曲线硬边界声号筒对应的吸声曲线图，横坐标为频率，纵坐标为吸声量，吸声量越高说明吸声效果越好；图6、图8为列举不同参数化曲线硬边界声号筒对应的吸声峰值响应云图举例；图10为周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的硬边界声号筒模型带隙图，带隙图表示得是声波在此结构上的穿透能力，带隙处表明声波在此处均被吸收；图11表示周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的硬边界声号筒模型吸声曲线；图12表示周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的硬边界声号筒模型模型的峰值响应云图举例；图13、图15为不同参数化曲线声号筒带PML层吸声曲线；图14、图16为不同参数化曲线的PML层声号筒模型的吸声峰值响应云图举例；图17、图18、图19分别为周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层声号筒模型示意图、带隙图和吸声曲线图；图20为周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层声号筒模型的吸声峰值响应云图举例；图21、图22、图23分别为参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层和硬边界声号筒单胞模型示意图、吸声曲线图、峰值响应云图举例；图24、图25、图26分别为周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的带PML层和硬边界声号筒模型带隙、吸声曲线、峰值响应云图举例；图27、图28为参数化曲线为$10e^{0.035s}$的硬边界声号筒单胞模型实物图、单胞模型3D示意图；图29、图30分别为周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的PML层声号筒单胞模型实物图、单胞模型3D示意图；图31、图32分别为周期附加参数化曲线为$10e^{0.035s}$的组合单胞模型实物图、单胞模型3D示意图。

[0122] 通过有限元建模计算，综合图形合理以及吸声量的效果，最终在8个周期时的参数化曲线选择了$10e^{0.035s}$。从实际应用以及吸声效果的角度来看，本发明在做实验时选择了参数化曲线为$10e^{0.035s}$的喇叭型声腔。由吸声曲线图和带隙图可知，本发明的吸声效果十分显著，实现了宽频吸声以及对噪声控制的可调性。

[0123] 本发明还提供了一种工厂车间管道系统，设置有周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构，具体实现如下：

[0124] 1)系统结构：工厂车间管道系统包括空气输送管道、吊架、周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构以及智能控制系统。空气输送管道用于通风、排气和空调等功能，吊架将空气输送管道固定在车间内。

[0125] 2)喇叭型声腔的设置：在空气输送管道的外壁上周期性地设置若干喇叭形声腔，包括硬边界喇叭状号筒和空气阻抗边界喇叭状号筒。这些喇叭形声腔通过吸收管道内部的噪声，降低车间内的噪声水平。

[0126] 3)传感器安装:在管道内部和车间内安装声压传感器和振动传感器,实时监测管道内外的噪声水平和结构振动。传感器数据将实时传输至智能控制系统,用于调整吸声结构参数。

[0127] 4)智能控制系统:该系统接收传感器数据并分析噪声和振动特性,根据实时监测结果计算出最佳的吸声结构参数,并自动调整周期附加喇叭型声腔的尺寸和布局。此外,智能控制系统还可以接收来自生产线控制系统的信息,以便更准确地调整吸声结构参数。

[0128] 5)可调结构:喇叭形声腔和空气阻抗边界喇叭状号筒采用电动驱动器、伸缩材料或其他可调节结构,根据智能控制系统的信号自动调整形状和尺寸,以达到最佳吸声效果。

[0129] 6)人机交互界面:开发一个人机交互界面,允许工厂管理人员设定特定的噪声控制目标,如预期的噪声削减水平、频率范围等。此外,人机交互界面还可以实时显示当前吸声管道的性能,如吸声系数、频率响应等。

[0130] 通过以上设计,工厂车间管道系统设置有周期附加喇叭型声腔的可调吸声管道结构,可有效降低车间内的噪声水平,提高员工的工作环境质量。同时,智能控制系统的应用使得吸声效果能够根据实际情况实时调整,提高吸声效率。

[0131] 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;术语“上”、“下”、“左”、“右”、“内”、“外”、“前端”、“后端”、“头部”、“尾部”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,术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0132] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

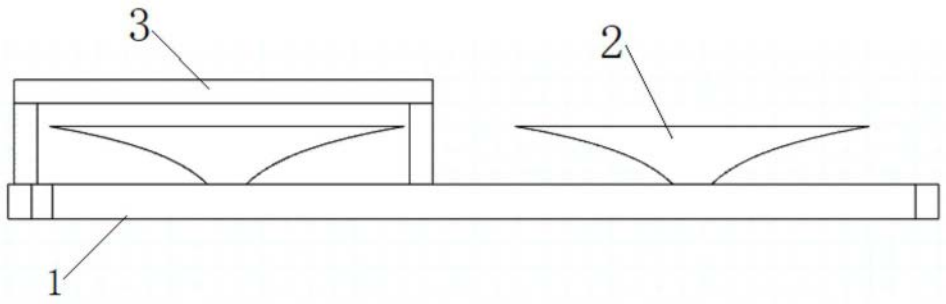


图1

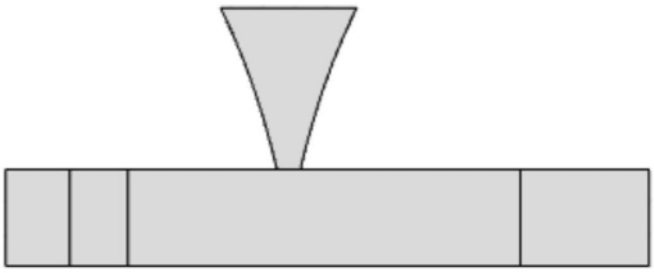


图2

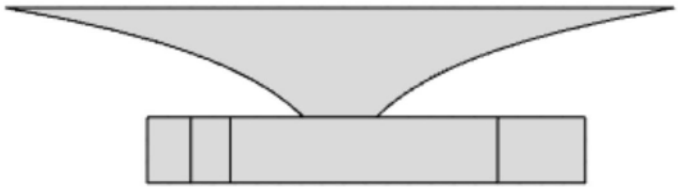


图3

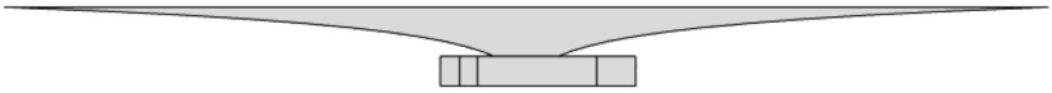


图4

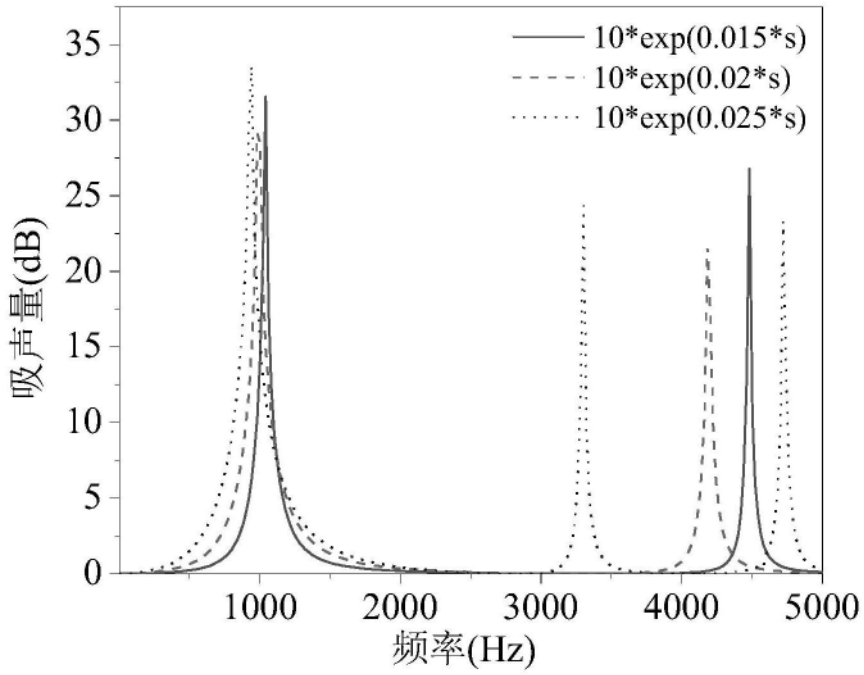

10*exp(0.015*s)
10*exp(0.02*s)
10*exp(0.025*s)
吸声量(dB)
频率(Hz)
0
5
10
15
20
25
30
35
1000
2000
3000
4000
5000

图5

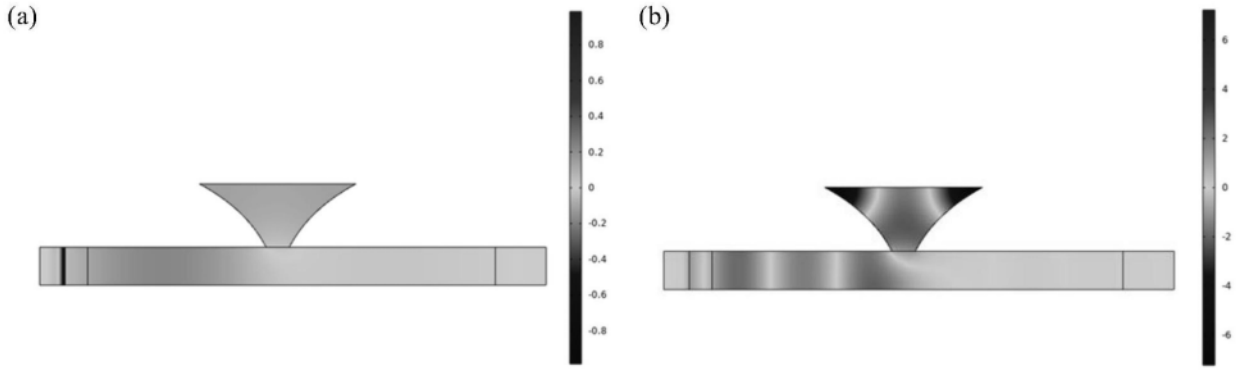

(a)
(b)

图6

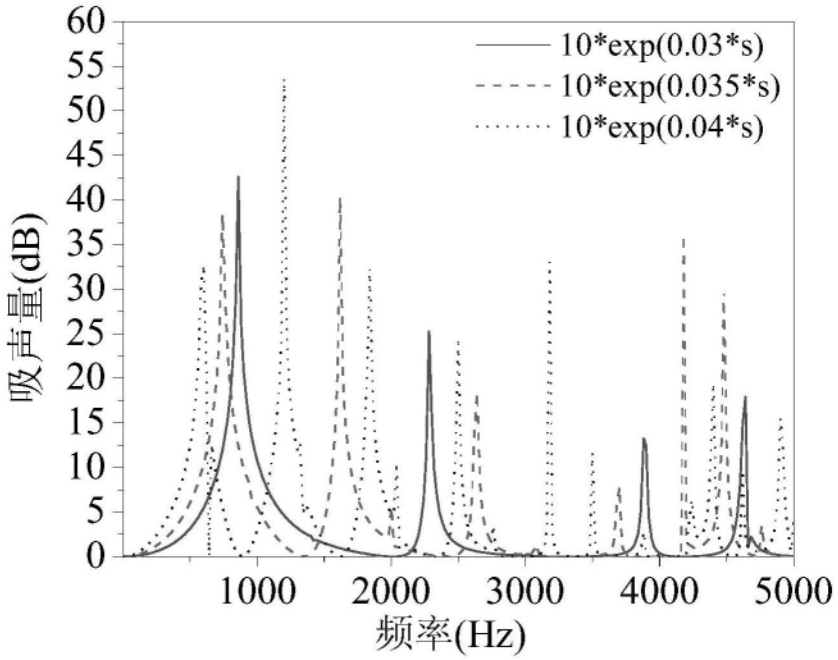

10*exp(0.03*s)
10*exp(0.035*s)
10*exp(0.04*s)
吸声量(dB)
频率(Hz)
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
1000
2000
3000
4000
5000

图7

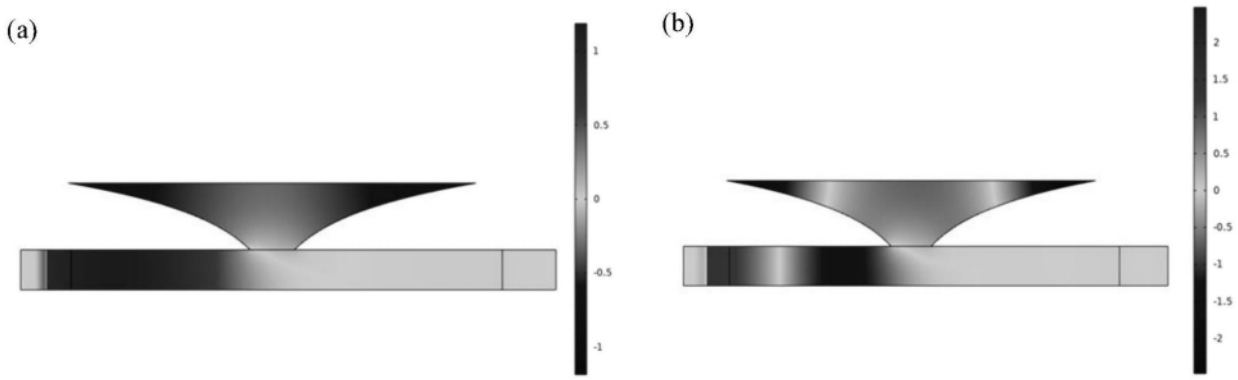

(a)
(b)

图8

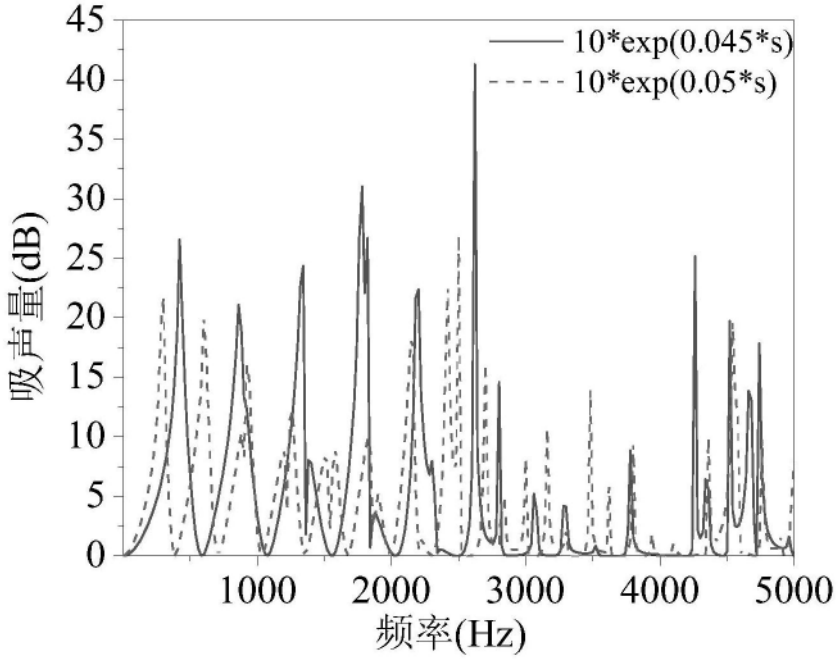

10*exp(0.045*s)
10*exp(0.05*s)
吸声量(dB)
频率(Hz)
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
1000
2000
3000
4000
5000

图9

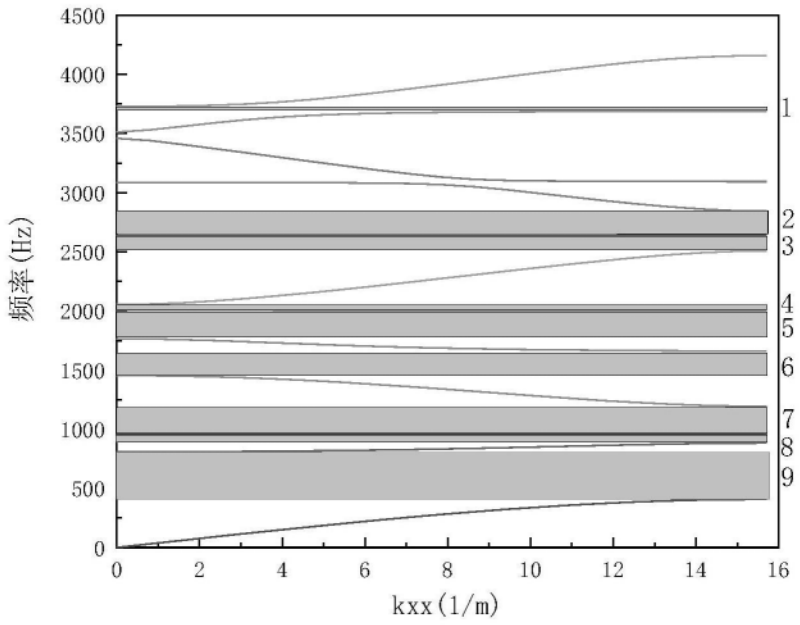

频率(Hz)
kxx(1/m)
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
0
2
4
6
8
10
12
14
16
1
2
3
4
5
6
7
8
9

图10

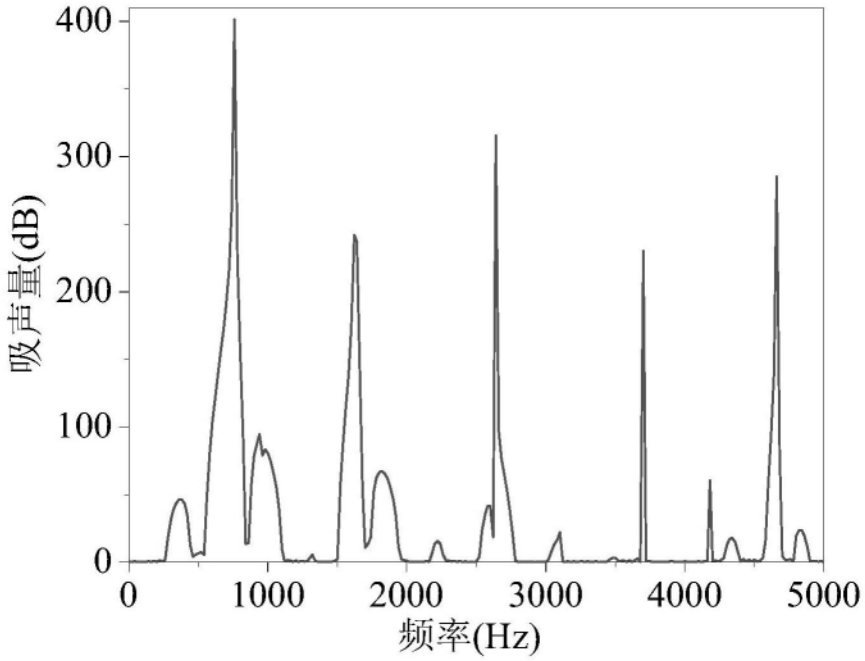

400
300
200
100
0
吸声量(dB)
0
1000
2000
3000
4000
5000
频率(Hz)

图11

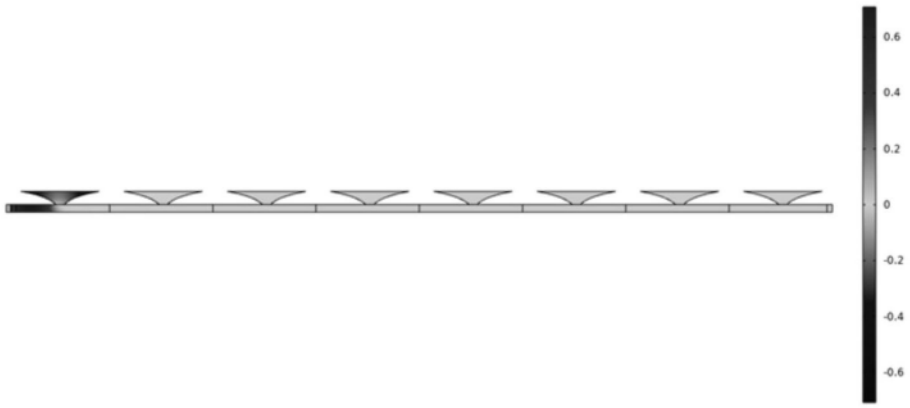

0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6

图12

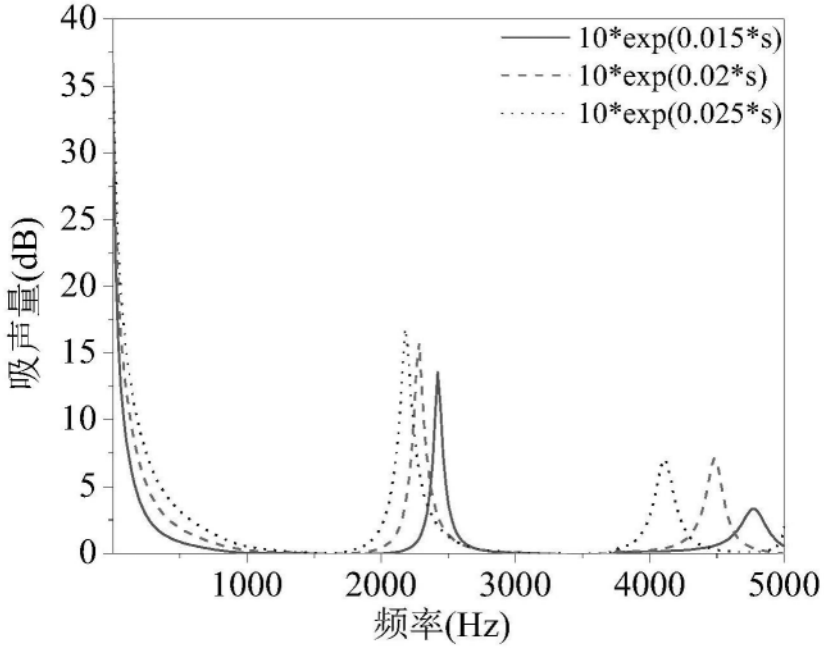

10*exp(0.015*s)
10*exp(0.02*s)
10*exp(0.025*s)
吸声量(dB)
频率(Hz)
0
5
10
15
20
25
30
35
40
1000
2000
3000
4000
5000

图13

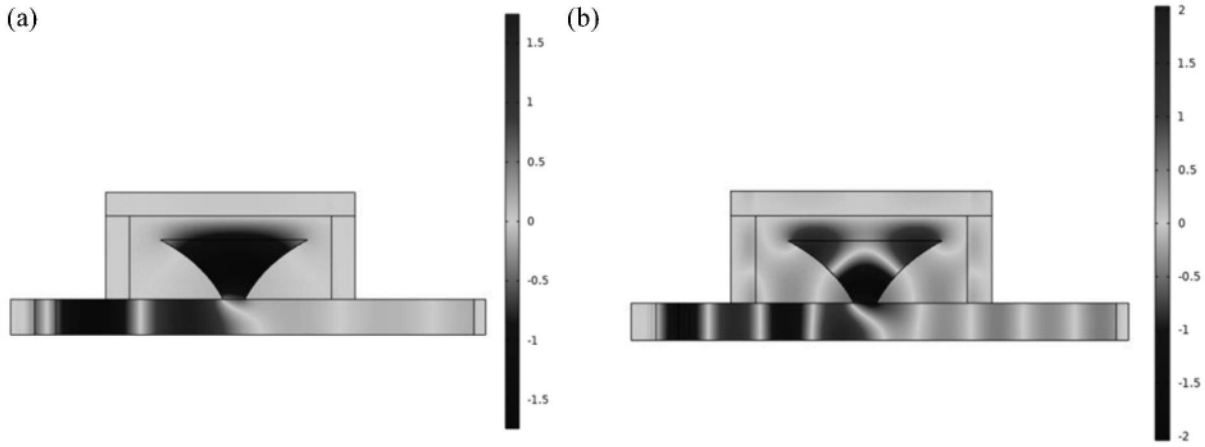

(a)
(b)
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2

图14

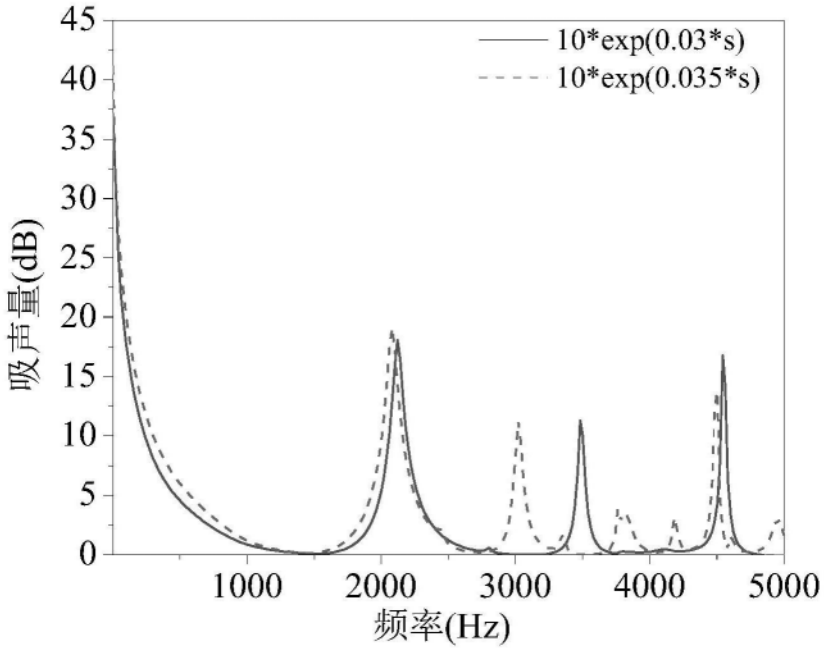

10*exp(0.03*s)
10*exp(0.035*s)
吸声量(dB)
频率(Hz)
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
1000
2000
3000
4000
5000

图15

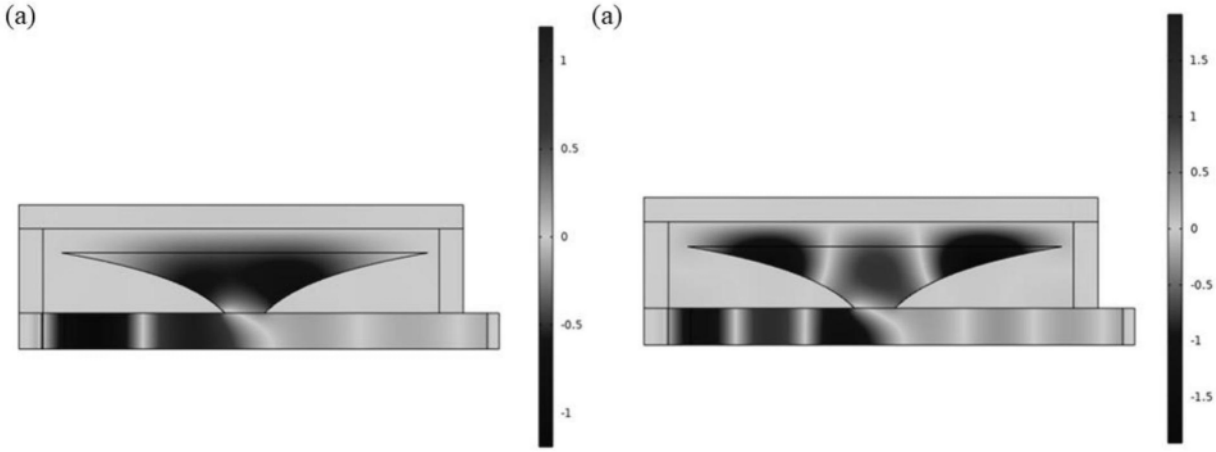

(a)
(a)

图16



图17

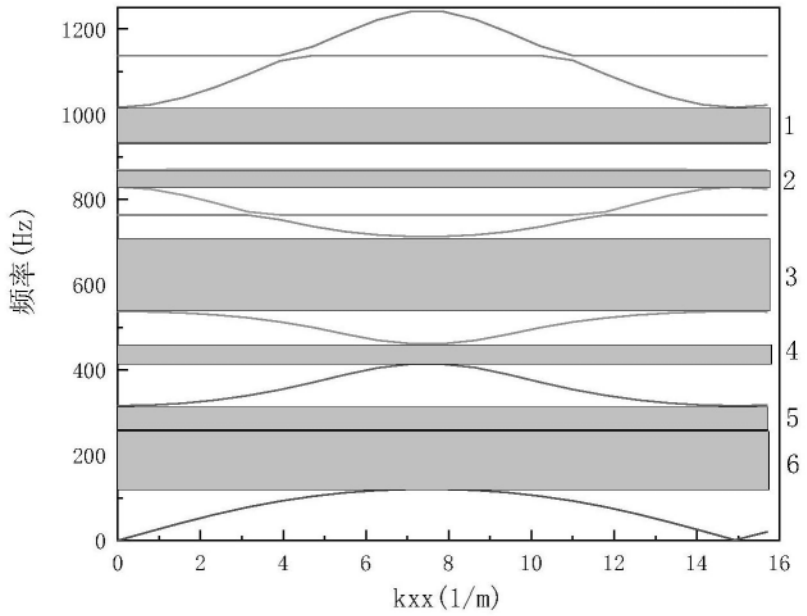

1200
1000
800
600
400
200
0
频率(Hz)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
kxx(1/m)
1
2
3
4
5
6

图18

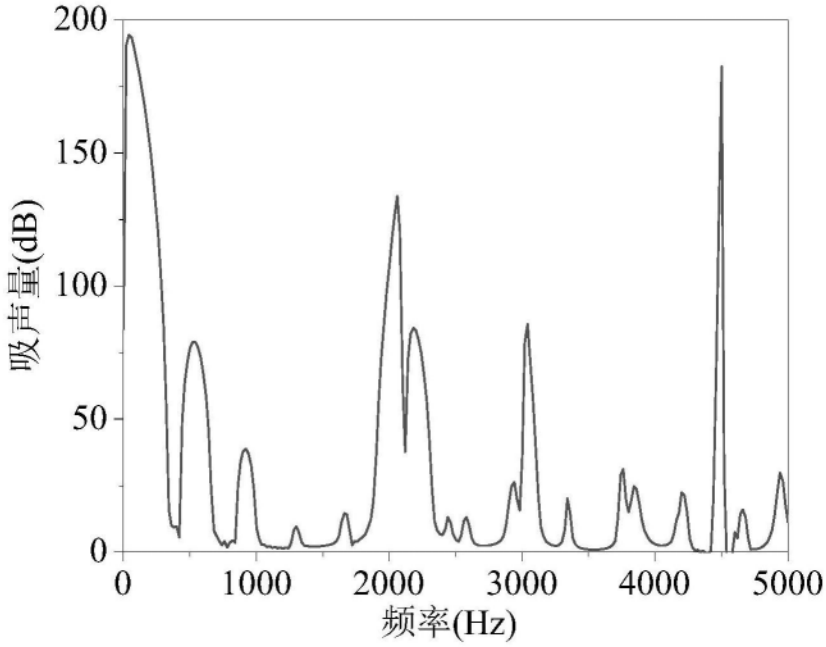

200
150
100
50
0
吸声量(dB)
0
1000
2000
3000
4000
5000
频率(Hz)

图19

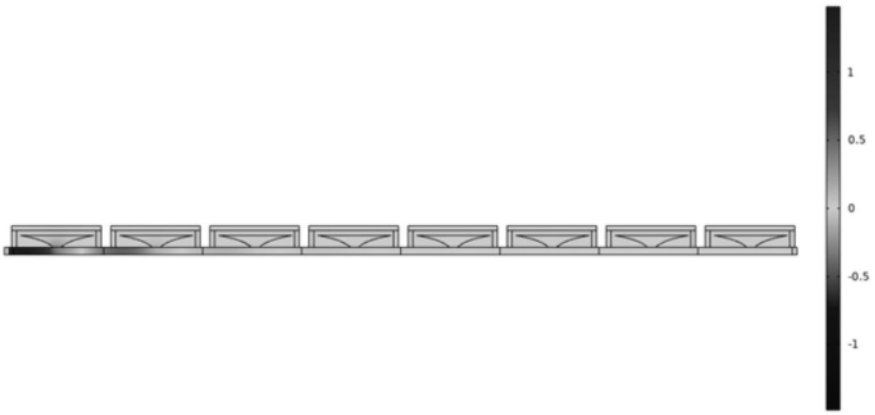

1
0.5
0
-0.5
-1

图20

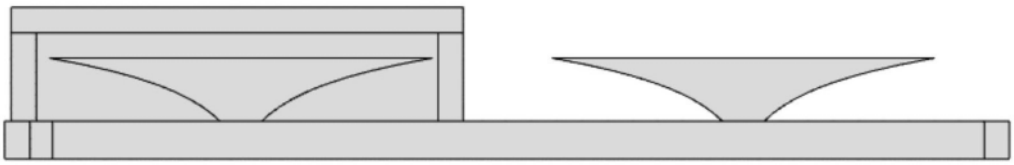


图21

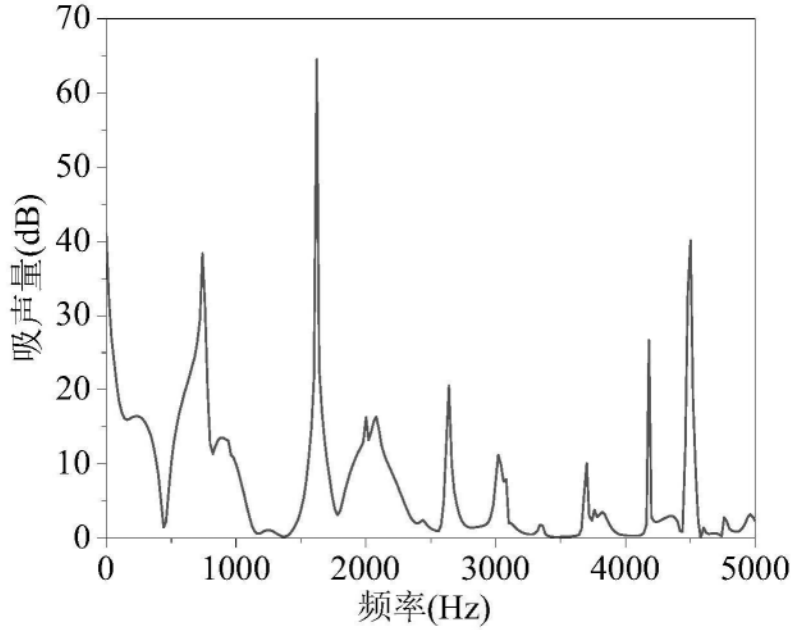

70
60
50
40
30
20
10
0
吸声量(dB)
0
1000
2000
3000
4000
5000
频率(Hz)

图22

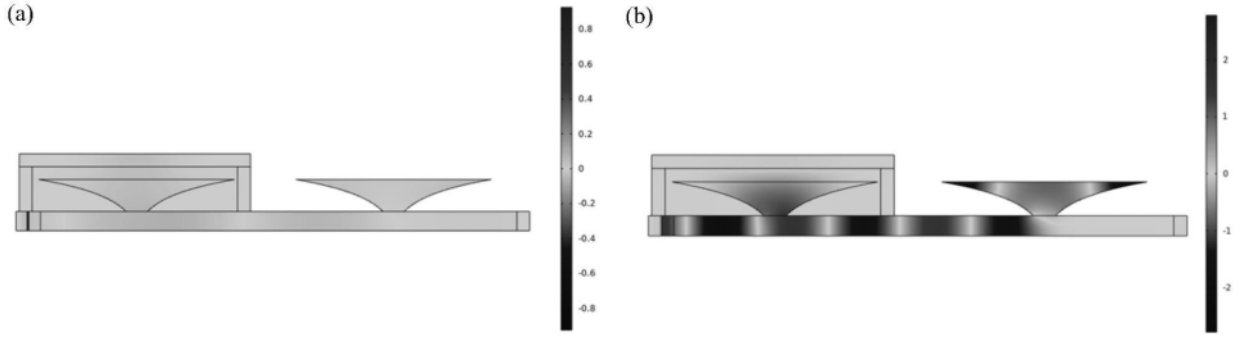

(a)
(b)

图23

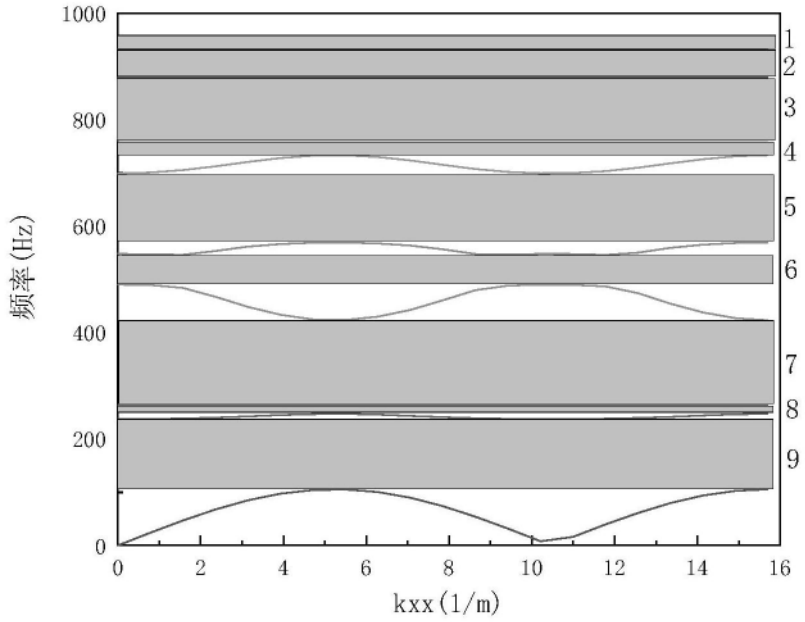

1000
800
600
400
200
0
频率(Hz)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
kxx(1/m)
1
2
3
4
5
6
7
8
9

图24

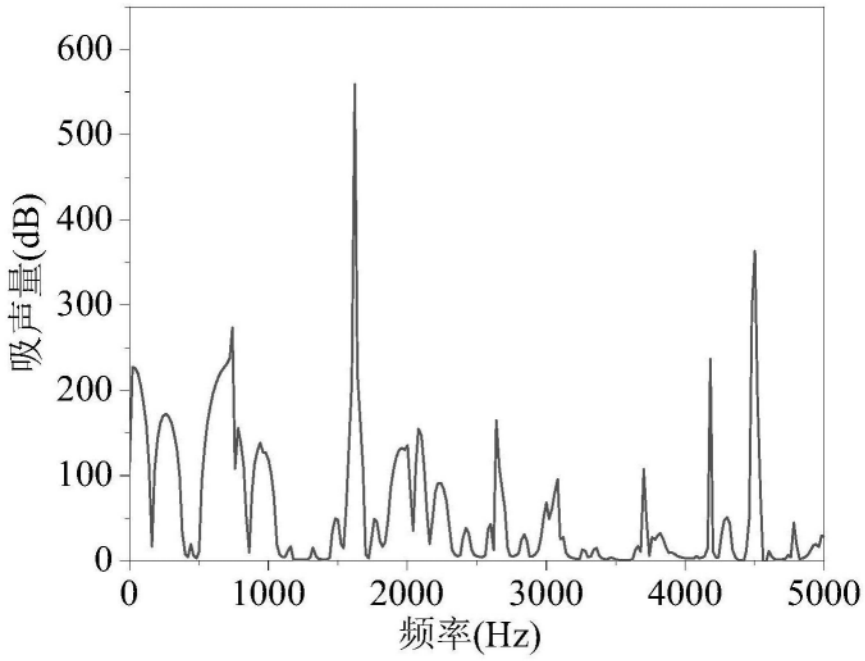

600
500
400
300
200
100
0
吸声量(dB)
0
1000
2000
3000
4000
5000
频率(Hz)

图25


0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8

图26

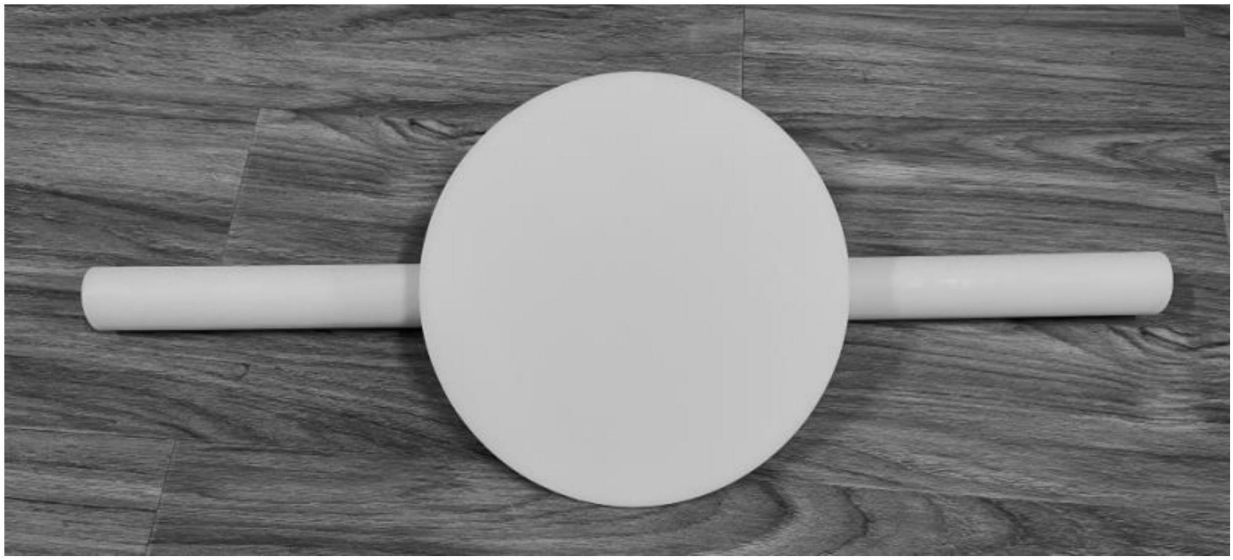


图27

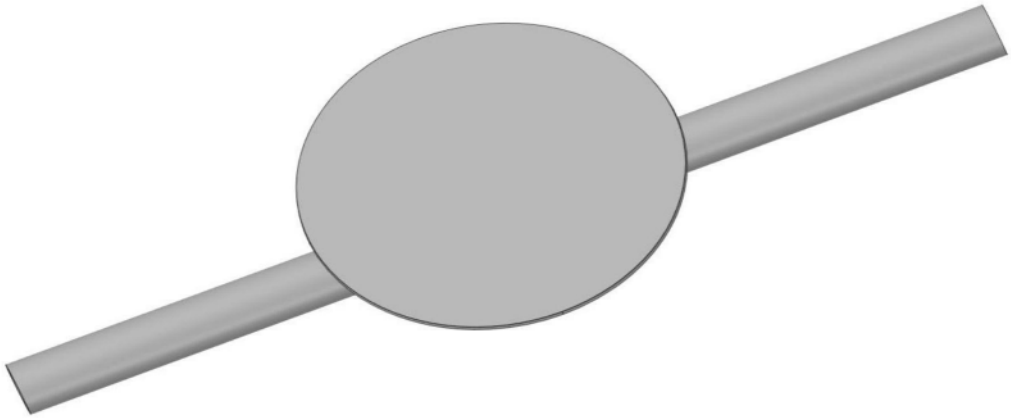


图28



图29

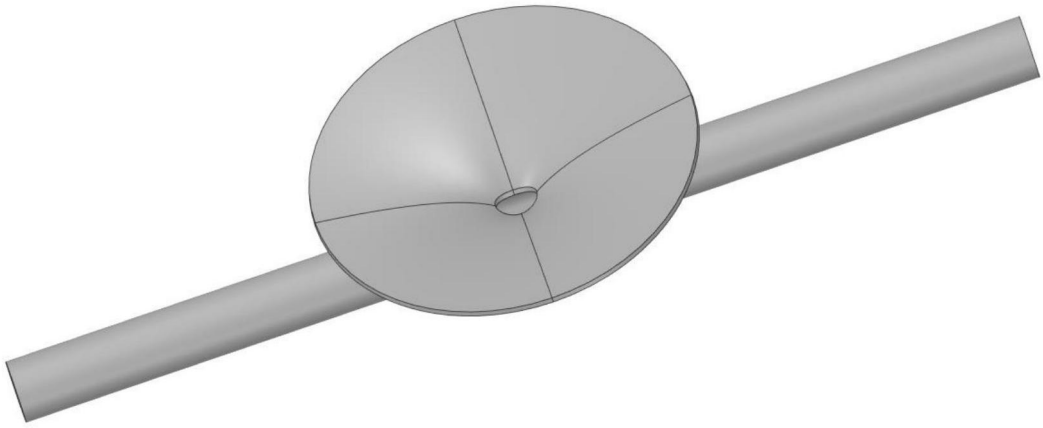


图30



图31



图32