



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103590501 A

(43) 申请公布日 2014. 02. 19

(21) 申请号 201310513561. 7

(22) 申请日 2013. 10. 25

(71) 申请人 国家电网公司

地址 100761 北京市西城区西长安街 86 号

申请人 国网陕西省电力公司电力科学研究院

(72) 发明人 吴健 王刚 白晓春 耿明昕

吕平海 温激鸿 安翠翠 赵宏刚  
樊创

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任  
公司 61200

代理人 徐文权

(51) Int. Cl.

E04B 1/86 (2006. 01)

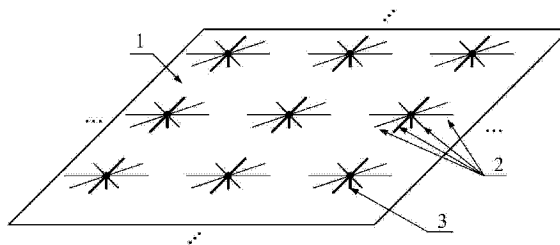
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种用于低频隔声的轻质组合式板结构及其设计方法

(57) 摘要

本发明一种用于低频隔声的轻质组合式板结构,由隔声基板,梁片单元和支撑构件组成;梁片单元通过支撑构件固定连接在隔声基板上,梁片单元包括至少一个呈长方体结构的梁片,梁片的中心点均与支撑构件固定连接;一个梁片的最低阶共振频率和一个目标噪声频率相同。其设计方法包括步骤,1)根据目标噪声频带数量,分别确定设计参数;2)确定隔声基板的结构参数;3)确定周期间距  $a$  时,在  $0 < a < \lambda$  的范围内选取;4)确定梁片单元的结构参数,包括梁片的数量,每个梁片的厚度  $h_r$ 、长度  $l_r$  和宽度  $b_r$ ;根据目标噪声频率的数量得到与其一一对应的梁片的数量,根据实际工程需求分别选取不同梁片的厚度  $h_r$ , 计算确定每个梁片的长度  $l_r$  和宽度  $b_r$ 。



1. 一种用于低频隔声的轻质组合式板结构,其特征在于,由隔声基板(1),梁片单元和支撑构件(3)组成;所述的梁片单元通过支撑构件(3)固定连接在隔声基板(1)上,梁片单元包括至少一个呈长方体结构的梁片(2),梁片(2)的中心点均与支撑构件(3)固定连接;一个梁片(2)的最低阶共振频率和一个目标噪声频率相同。

2. 根据权利要求1所述的用于低频隔声的轻质组合式板结构,其特征在于,所述的梁片单元呈周期阵列附加排布在隔声基板(1)上。

3. 根据权利要求2所述的用于低频隔声的轻质组合式板结构,其特征在于,所述的梁片单元包括两个呈相互垂直设置的梁片(2);梁片单元在隔声基板(1)上,以相邻梁片单元中的梁片(2)呈 $45^\circ$ 夹角为规律附加排布设置。

4. 根据权利要求1所述的用于低频隔声的轻质组合式板结构,其特征在于,一个梁片(2)能够由多个长度和厚度与梁片(2)相同的窄梁片代替,且窄梁片宽度的总和与梁片的宽度相同。

5. 根据权利要求1-4中任意一项所述的用于低频隔声的轻质组合式板结构,其特征在于,所述的隔声基板(1),梁片单元和支撑构件(3)均由金属材料制成。

6. 根据权利要求5所述的用于低频隔声的轻质组合式板结构,其特征在于,所述的支撑构件(3)通过螺栓或焊接与隔声基板(1)固定连接。

7. 一种如权利要求1-6中任意一项所述的用于低频隔声的轻质组合式板结构的设计方法,其特征在于,包括如下步骤,

1) 根据目标噪声频带数量,分别确定设计参数,包括隔声基板的结构参数、梁片单元阵列的周期间距 $a$ 和梁片单元的结构参数;

2) 确定隔声基板的结构参数,包括选取的隔声基板的材料和厚度;

3) 确定周期间距 $a$ 时,在 $0 < a < \lambda$ 的范围内选取,其中 $\lambda$ 为在目标噪声频率 $f_0$ 下隔声基板的弯曲波波长;

4) 确定梁片单元的结构参数,包括梁片的数量,每个梁片的厚度 $h_r$ 、长度 $l_r$ 和宽度 $b_r$ ;根据目标噪声频率的数量得到与其一一对应的梁片的数量,根据实际工程需求分别选取不同梁片的厚度 $h_r$ ,并根据以下公式分别确定每个梁片的长度 $l_r$ 和宽度 $b_r$ ;

$$l_r = \left[ \frac{(2 \times 1.875)^4 E_r h_r^3}{12 \rho_r (2\pi f_0)^2} \right]^{1/4};$$

$$b_r = \frac{\chi a^2 - \rho h a^2}{\rho_r h_r l_r};$$

其中, $E_r$ 、 $\rho_r$ 、 $h_r$ 和 $l_r$ 分别为梁片的杨氏模量、密度、厚度和总长度, $f_0$ 为目标频带频率, $a$ 为周期间距, $\rho$ 和 $h$ 分别为隔声基板的密度和厚度, $\chi$ 为允许的最大面密度;

5) 根据步骤1)至4)得出的设计参数,加工制得用于低频隔声的轻质组合式板结构。

8. 根据权利要求7所述的用于低频隔声的轻质组合式板结构的设计方法,其特征在于,一个梁片能够由多个长度和厚度与梁片相同的窄梁片代替,窄梁片宽度的总和等于梁片的宽度 $b_r$ 。

9. 根据权利要求7所述的用于低频隔声的轻质组合式板结构的设计方法,其特征在于,计算得到的宽度 $b_r$ 为允许的最大梁片宽度。

10. 根据权利要求 7 所述的用于低频隔声的轻质组合式板结构的设计方法,其特征在  
于,确定周期间距  $a$  时,在  $0 < a < \lambda / 5$  的范围内选取。

## 一种用于低频隔声的轻质组合式板结构及其设计方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及低频噪音的隔声技术,具体为一种用于低频隔声的轻质组合式板结构及其设计方法。

### 背景技术

[0002] 在工程领域,为了减小或者消除噪声源对周围环境的不利影响,通常采用板状结构或墙体结构等固体介质将噪声源与周围环境隔绝开,这种方法称为隔声。然而,传统隔声结构的低频隔声性能受隔声质量密度定律控制——面密度越大则低频隔声量越大。换言之,要想在低频范围内实现较大的隔声量,就需要选用质量较大的隔声构件。而实际工程对隔声构件的质量、造价往往有较大限制,因此,低频轻质的隔声构件成为当前噪声控制领域的一大难题。

### 发明内容

[0003] 为了解决现有技术中的问题,本发明提供一种用于低频隔声的轻质组合式板结构及其设计方法,突破质量密度定律对板结构低频隔声性能的限制。

[0004] 本发明是通过以下技术方案来实现:

[0005] 一种用于低频隔声的轻质组合式板结构,由隔声基板,梁片单元和支撑构件组成;所述的梁片单元通过支撑构件固定连接在隔声基板上,梁片单元包括至少一个呈长方体结构的梁片,梁片的中心点均与支撑构件固定连接;一个梁片的最低阶共振频率和一个目标噪声频率相同。

[0006] 优选的,梁片单元呈周期阵列附加排布在隔声基板上。

[0007] 进一步,梁片单元包括两个呈相互垂直设置的梁片;梁片单元在隔声基板上,以相邻梁片单元中的梁片呈 $45^\circ$ 夹角为规律附加排布设置。

[0008] 优选的,一个梁片能够由多个长度和厚度与梁片相同的窄梁片代替,且窄梁片宽度的总和与梁片的宽度相同。

[0009] 进一步,隔声基板,梁片单元和支撑构件均由金属材料制成。

[0010] 再进一步,支撑构件通过螺栓或焊接与隔声基板固定连接。

[0011] 本发明一种用于低频隔声的轻质组合式板结构的设计方法,包括如下步骤,

[0012] 1) 根据目标噪声频带数量,分别确定设计参数,包括隔声基板的结构参数、梁片单元阵列的周期间距 $a$ 和梁片单元的结构参数;

[0013] 2) 确定隔声基板的结构参数包括,选取的隔声基板的材料和厚度;

[0014] 3) 确定周期间距 $a$ 时,在 $0 < a < \lambda$ 的范围内选取,其中 $\lambda$ 为在目标噪声频率 $f_0$ 下隔声基板的弯曲波波长;

[0015] 4) 确定梁片单元的结构参数,包括梁片的数量,每个梁片的厚度 $h_r$ 、长度 $l_r$ 和宽度 $b_r$ ;根据目标噪声频率的数量得到与其一一对应的梁片的数量,根据实际工程需求分别选取不同梁片的厚度 $h_r$ ,并根据以下公式分别确定每个梁片的长度 $l_r$ 和宽度 $b_r$ ;

$$[0016] \quad l_r = \left[ \frac{(2 \times 1.875)^4 E_r h_r^2}{12 \rho_r (2\pi f_0)^2} \right]^{1/4};$$

$$[0017] \quad b_r = \frac{\chi a^2 - \rho h a^2}{\rho_r h_r l_r};$$

[0018] 其中,  $E_r$ 、 $\rho_r$ 、 $h_r$  和  $l_r$  分别为梁片的杨氏模量、密度、厚度和总长度,  $f_0$  为目标频带频率,  $a$  为周期间距,  $\rho$  和  $h$  分别为隔声基板的密度和厚度,  $\chi$  为允许的最大面密度;

[0019] 5) 根据步骤 1) 至 4) 得出的设计参数, 加工制得用于低频隔声的轻质组合式板结构。

[0020] 优选的, 一个梁片能够由多个长度和厚度与梁片相同的窄梁片代替, 窄梁片宽度的总和等于梁片的宽度  $b_r$ 。

[0021] 优选的, 计算得到的宽度  $b_r$  为允许的最大梁片宽度。

[0022] 优选的, 确定周期间距  $a$  时, 在  $0 < a < \lambda / 5$  的范围内选取。

[0023] 与现有技术相比, 本发明具有以下有益的技术效果:

[0024] 本发明一种用于低频隔声的轻质组合式板结构, 通过设置特定尺寸的梁片, 使得其最低阶共振频率和目标噪声频率一致。于是, 当目标噪声作用于隔声基板使其产生弯曲振动时, 同时还会激起附加梁片的强烈共振, 共振的梁片反过来又会对隔声基板施加巨大的反作用力, 迫使基板的振动响应大为减弱, 进而使其辐射噪声大为降低, 最终使得本发明的隔声量显著提高。而且, 通过引入多种不同尺寸的梁片, 可以产生多个共振频率, 在多个目标频率处实现大的隔声量, 完成对多目标噪声的隔离, 能够实现低频范围空气噪声的高效隔离。

[0025] 进一步的, 通过采用金属材料实现整体结构, 以及通过用多个窄梁片代替梁片, 使得本发明对环境的适应性好, 加工制造简单方便, 寿命长。

[0026] 进一步的, 通过对梁片单元的周期阵列排布, 使得梁片单元对噪音的阻隔能够更加的均匀有效, 提高了整体隔离效果。

[0027] 本发明用于低频隔声的轻质组合式板结构的设计方法, 通过对组合式板结构关键参数的选取和计算, 确定梁片的数量和尺寸, 梁片单元排布的周期间距, 以及基板的基本参数, 从而得到了确定的并且适合设计要求和环境的组合式板结构, 针对性强, 设计灵活。

[0028] 进一步的, 利用多个窄梁片, 代替梁片的设计, 能够在保证隔音效果的同时, 提高其适应能力和布置的灵活性。

## 附图说明

[0029] 图 1 为本发明组合式板结构示意图。

[0030] 图 2 为本发明具体实例中所述的组合式板结构的立体示意图。

[0031] 图 3 为图 2 所示的组合式板结构与同面密度的均质板结构的隔声效果对比示意图。

[0032] 图中: 1 为隔声基板, 2 为梁片, 3 为支撑构件。

## 具体实施方式

[0033] 下面结合具体的实施例对本发明做进一步的详细说明,所述是对本发明的解释而不是限定。

[0034] 本发明一种用于低频隔声的轻质组合式板结构,如图 1 所示,器由隔声基板 1,梁片单元和支撑构件 3 组成;梁片单元通过支撑构件 3 固定连接在隔声基板 1 上,梁片单元包括至少一个呈长方体结构的梁片 2,梁片 2 的中心点均与支撑构件 3 固定连接;一个梁片 2 的最低阶共振频率和一个目标噪声频率相同。

[0035] 如图 2 所示,本优选实施例中,梁片单元呈周期阵列附加排布在隔声基板 1 上;梁片单元包括两个呈相互垂直设置的梁片 2;梁片单元在隔声基板 1 上,以相邻梁片单元中的梁片 2 呈 45° 夹角为规律附加排布设置;隔声基板 1,梁片单元和支撑构件 3 均由金属材料制成;支撑构件 3 通过螺栓或焊接与隔声基板 1 固定连接。

[0036] 进一步的,一个梁片 2 能够由多个长度和厚度与梁片 2 相同的窄梁片代替,且窄梁片宽度的总和与梁片的宽度相同。

[0037] 如图 2 所示,其为本优选实例所述用于低频隔声的轻质组合式板的结构样件示意图,按照消声室-混响室法测得的隔声性能如图 3 中实线所示。该样件的目标是为了隔离两个低频带噪声,分别位于 150Hz 和 350Hz 附近处。图 3 中还给出了同样面密度均质板结构的隔声性能。通过对比可以看出,由本优选实例中给出的组合式板结构能够在两个目标频率处产生高效隔声,比同面密度均质板隔声量要高出至少 10dB 以上。

[0038] 本发明一种用于低频隔声的轻质组合式板结构的设计方法,基于上述的组合式板结构,其包括如下步骤,

[0039] 1) 根据目标噪声频带数量,分别确定设计参数,包括隔声基板的结构参数、梁片单元阵列的周期间距  $a$  和梁片单元的结构参数;

[0040] 2) 确定隔声基板的结构参数,包括选取的隔声基板的材料和厚度;

[0041] 3) 确定周期间距  $a$  时,在  $0 < a < \lambda / 5$  的范围内选取,其中  $\lambda$  为在目标噪声频率  $f_0$  下隔声基板的弯曲波波长;

[0042] 4) 确定梁片单元的结构参数,包括梁片的数量,每个梁片的厚度  $h_r$ 、长度  $l_r$  和宽度  $b_r$ ;根据目标噪声频率的数量得到与其一一对应的梁片的数量,根据实际工程需求分别选取不同梁片的厚度  $h_r$ ,并根据以下公式分别确定每个梁片的长度  $l_r$  和宽度  $b_r$ ;

$$[0043] \quad l_r = \left[ \frac{(2 \times 1.875)^4 E_r h_r^3}{12 \rho_r (2\pi f_0)^2} \right]^{1/4};$$

$$[0044] \quad b_r = \frac{\chi a^2 - \rho h a^2}{\rho_r h_r l_r};$$

[0045] 其中,  $E_r$ 、 $\rho_r$ 、 $h_r$  和  $l_r$  分别为梁片的杨氏模量、密度、厚度和总长度,  $f_0$  为目标频带频率,  $a$  为周期间距,  $\rho$  和  $h$  分别为隔声基板的密度和厚度,  $\chi$  为允许的最大面密度;

[0046] 5) 根据步骤 1) 至 4) 得出的设计参数,加工制得用于低频隔声的轻质组合式板结构。

[0047] 优选的,一个梁片能够由多个长度和厚度与梁片相同的窄梁片代替,窄梁片宽度的总和等于梁片的宽度  $b_r$ ;计算得到的宽度  $b_r$  为允许的最大梁片宽度。

[0048] 具体的,以单一频段低频噪声隔离问题为例,实际设计本发明提出的组合式板结构需要确定三个方面的参数:隔声基板的结构参数、梁片单元阵列的周期间距  $a$  和梁片单元的结构参数。其中,隔声基板直接选用很薄的金属板结构或其他轻质板状结构材料均可,例如厚度  $h=1\text{mm}$  的铝板。周期间距  $a$  的选用原则是要使其远小于目标噪声频率  $f_0$  下隔声基板的弯曲波波长  $\lambda$ ,一般满足  $0 < a < \lambda/5$  即可。梁片单元中选用较薄的金属梁片,例如厚度  $h_r=1\text{mm}$  的铝梁片。但是,还需设计其长度  $l_r$  和宽度  $b_r$ 。其设计依据及方法如下:

[0049] 理论分析可知梁片的最低阶共振频率  $f_r$  由下式决定:

$$[0050] \quad f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(2 \times 1.875)^4 E_r h_r^2}{l_r^4 12 \rho_r}}$$

[0051] 其中,  $E_r$ 、 $\rho_r$ 、 $h_r$  和  $l_r$  分别为梁片的杨氏模量、密度、厚度和总长度。其中,共振频率与梁片的宽度  $b_r$  无关。因此,如果在给定目标噪声频率  $f_0$  (令  $f_r=f_0$ ),且选定梁片的材料和厚度  $h_r$  的条件下,可通过下式设计梁片的长度

$$[0052] \quad l_r = \left[ \frac{(2 \times 1.875)^4 E_r h_r^2}{12 \rho_r (2\pi f_0)^2} \right]^{1/4}$$

[0053] 梁片的宽度  $b_r$  可根据允许的最大面密度  $\chi$  进一步确定。由于设计的面密度要满足

$$[0054] \quad \frac{\rho h a^2 + \rho_r h_r l_r b_r}{a^2} \leq \chi$$

[0055] 于是允许的最大梁片宽度为

$$[0056] \quad b_r = \frac{\chi a^2 - \rho h a^2}{\rho_r h_r l_r}$$

[0057] 当以上设计得到的宽度  $b_r$  较大时,可以采用多个与之相同长度  $l_r$  和厚度  $h_r$  的窄梁片来替换这一设计,只需使这些窄梁片的总宽度为  $b_r$  即可。

[0058] 如果设计目标是隔离多个目标频带的低频噪声,则可以相应地设计多种不同共振频率的梁片的结构参数,依照以上方法先分别确定每种梁片的长度。类比以上方法,根据允许的最大面密度  $\chi$  进一步确定允许的最大梁片宽度  $b_r$ ,优选的在允许范围内取一样的梁片的宽度  $b_r$ 。

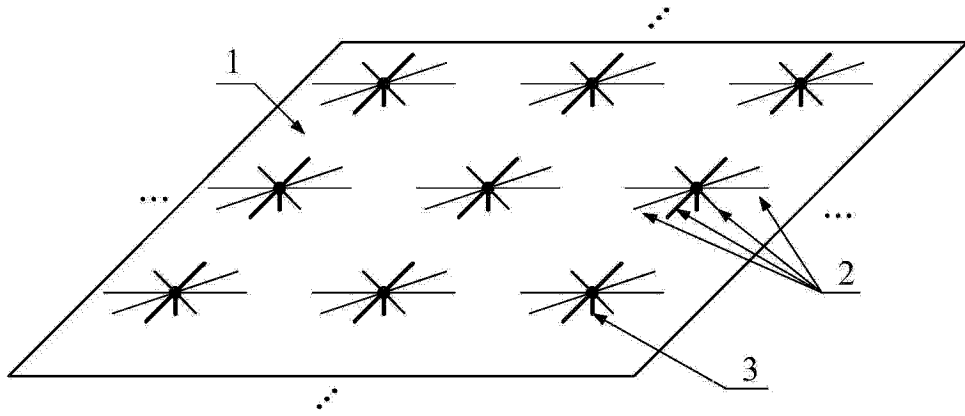


图 1

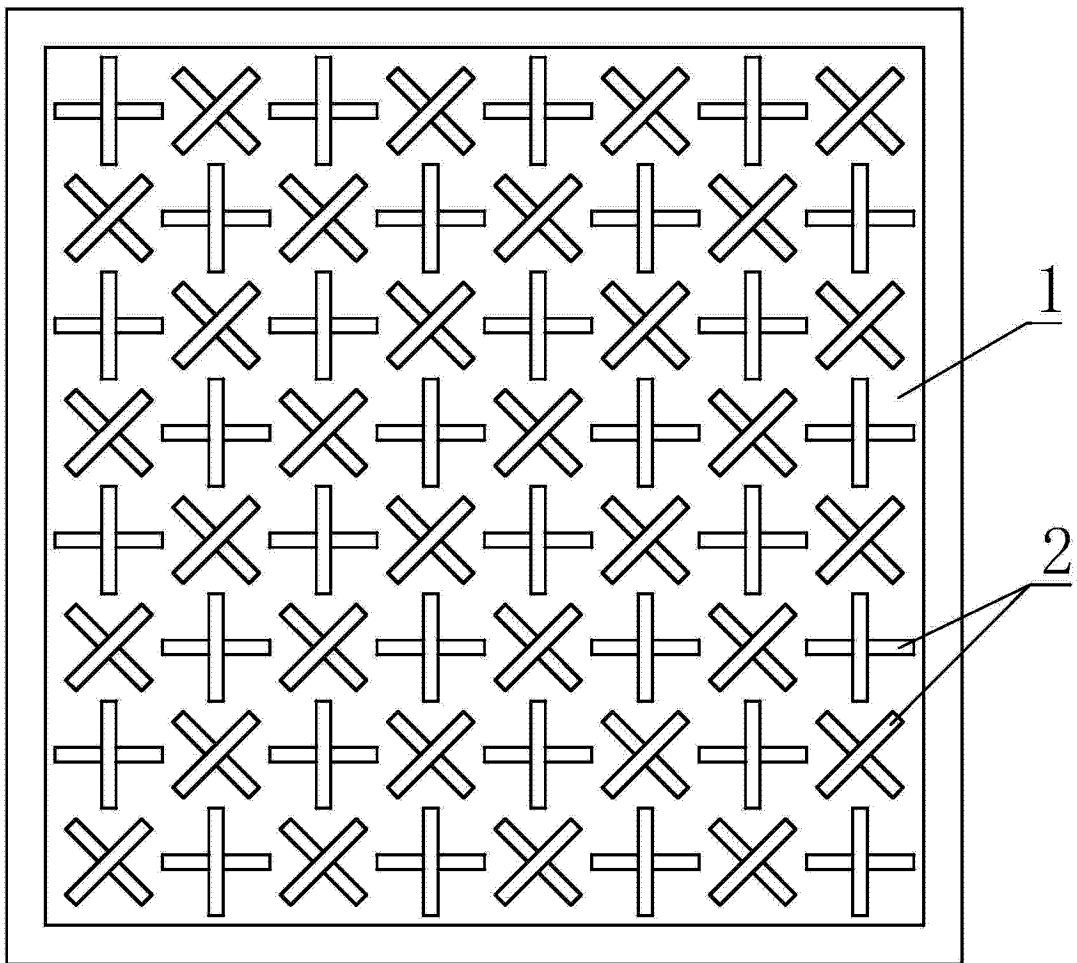


图 2



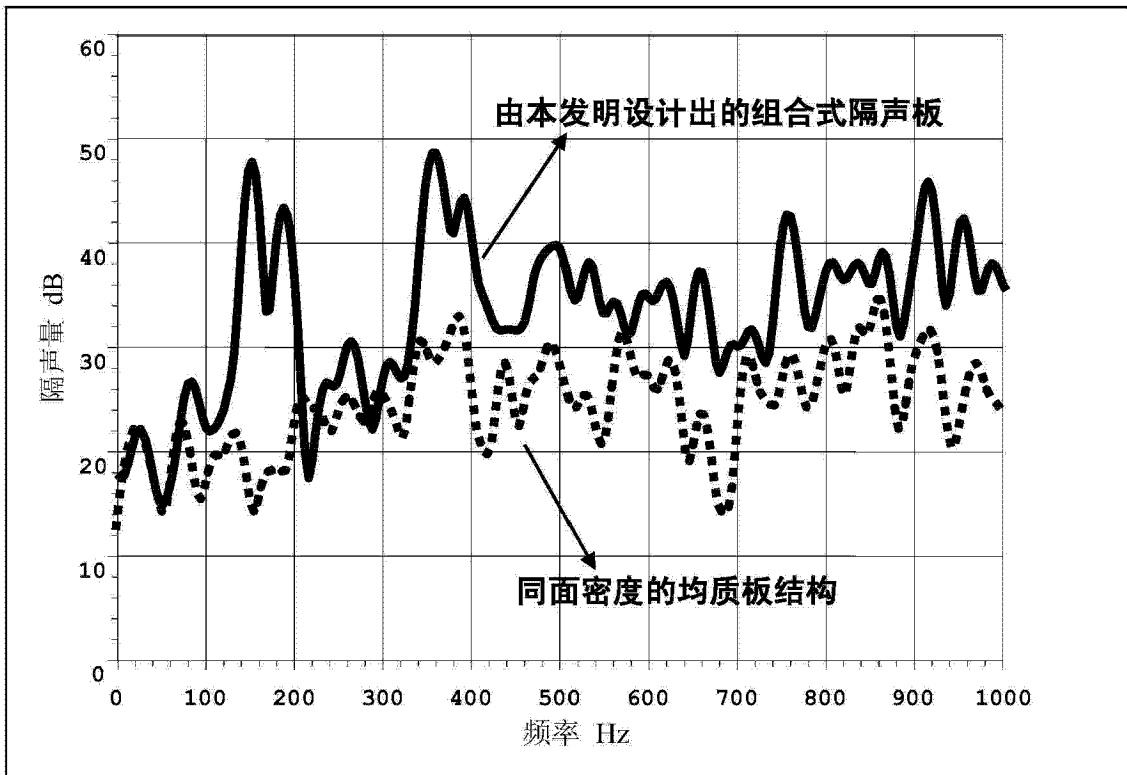


图 3