



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112154324 B

(45) 授权公告日 2021. 11. 30

(21) 申请号 201980028548.8

D · R · 查普曼

(22) 申请日 2019.04.19

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所  
有限公司 11038

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112154324 A

代理人 曹瑾

(43) 申请公布日 2020.12.29

(51) Int.Cl.

(30) 优先权数据  
15/964,967 2018.04.27 US

G01N 29/04 (2006.01)

G01N 29/11 (2006.01)

G01N 29/14 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2020.10.27

G01N 29/24 (2006.01)

G10K 11/00 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2019/028313 2019.04.19

(56) 对比文件

EP 0785443 A2, 1997.07.23

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02019/209654 EN 2019.10.31

US 2005252296 A1, 2005.11.17

WO 02068948 A2, 2002.09.06

CN 103189719 A, 2013.07.03

(73) 专利权人 雪佛龙美国公司  
地址 美国加利福尼亚  
专利权人 特里亚德国家安全有限责任公司

CN 1977160 A, 2007.06.06

审查员 于丹

(72) 发明人 A · T · 芬迪科格鲁 D · N · 辛哈

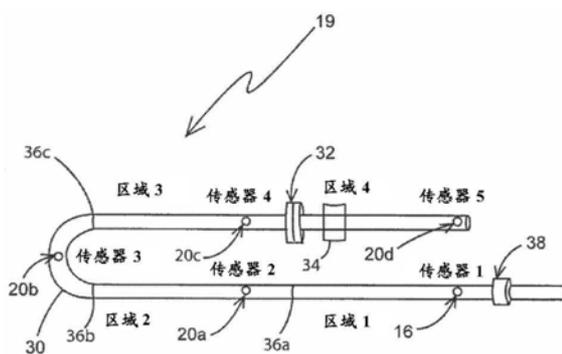
权利要求书4页 说明书18页 附图20页

(54) 发明名称

使用多模声学信号来检测、监控和确定金属结构中变化的位置

(57) 摘要

描述了用于检测、监控以及确定在具有任意复杂的几何结构的刚性结构中变化的位置的方法。实施方式包括沿着刚性结构的表面在多个位置处放置生成并接收声学信号的声学换能器,其中换能器位置之间的纵向间隔限定测量区域。具有选择的振幅-时间-频率特性的声学信号在结构的各个区域内激励多种振动模式。作为透射技术的部分,检查区域中的小的机械变化导致宽带声学信号的散射和衰减,这可以检测为接收信号特性的变化。作为脉冲回波技术的部分,短波、窄带脉冲声学信号的额外使用允许基于差分延迟分布曲线对各个区域内机械变化的相对位置的确定。



1. 一种用于检测和监控细长刚性结构中的机械变化的方法,所述方法包括:

沿细长刚性结构的表面在第一位置处放置第一声学换能器;

沿细长刚性结构的表面在第二位置处放置第二声学换能器;

沿细长刚性结构的表面在第三位置处放置第三声学换能器,其中,第二位置在第一位置和第三位置之间,第一位置和第二位置之间的纵向间隔限定第一区域,第二位置和第三位置之间的纵向间隔限定第二区域;

使用第二声学换能器来沿着细长刚性结构生成基线宽带声学信号;

使用第一声学换能器来获得响应于第一区域中的基线宽带声学信号的第一基线传输信号,并且使用第三声学换能器来获得响应于第二区域中的基线宽带声学信号的第二基线传输信号,其中获得所述第一基线传输信号和获得所述第二基线传输信号发生在所述细长刚性结构的已知或基线条件期间,其中在所述细长刚性结构的所述第一区域或所述第二区域中可检测的异常特征的存在或不存在表示所述第一区域和所述第二区域的参考条件;

使用第二声学换能器来沿着细长刚性结构生成监控宽带声学信号;

使用第一声学换能器来获得响应于第一区域中的监控宽带声学信号的第一监控传输信号,并且使用第三声学换能器来获得响应于第二区域中的监控传输信号的第二监控传输信号,其中获得所述第一监控传输信号和所述第二监控传输信号发生在获得所述第一基线传输信号和所述第二基线传输信号之后;

确定作为第一监控传输信号和第一基线传输信号之间的差的第一差分传输信号,其中所述第一监控传输信号和所述第一基线传输信号之间的所述差指示相对于所述第一区域的所述参考条件的变化;

确定作为第二监控传输信号和第二基线传输信号之间的差的第二差分传输信号,其中所述第二监控传输信号和所述第二基线传输信号之间的所述差指示相对于所述第二区域的所述参考条件的变化;以及

基于第一差分传输信号来确定在细长刚性结构的第一区域中是否发生机械变化,或者基于第二差分传输信号来确定在细长刚性结构的第二区域中是否发生机械变化。

2. 如权利要求1所述的方法,进一步包括:

使用第二声学换能器来沿着细长刚性结构生成基线窄带脉冲声学信号;

使用第一声学换能器来获得响应于第一区域和第二区域中的基线窄带脉冲声学信号的第一基线响应信号,并且使用第三声学换能器来获得响应于第二区域和第一区域中的基线窄带脉冲声学信号的第二基线响应信号,其中获得所述第一基线响应信号和所述第二基线响应信号发生在所述细长刚性结构的所述已知或基线条件期间,其中在所述细长刚性结构的所述第一区域或所述第二区域中可检测的异常特征的存在或不存在表示所述第一区域和所述第二区域的所述参考条件;

使用第二声学换能器来沿着细长刚性结构生成监控窄带脉冲声学信号;

使用第一声学换能器来获得响应于第一区域和第二区域中的监控窄带脉冲声学信号的第一监控响应信号,并且使用第三声学换能器来获得响应于第二区域和第一区域中的监控窄带脉冲声学信号的第二监控响应信号,其中获得所述第一监控响应信号和所述第二监控响应信号发生在获得所述第一基线响应信号和所述第二基线响应信号之后;

确定作为第一监控响应信号和第一基线响应信号之间的差的第一差分响应信号;

确定作为第二监控响应信号和第二基线响应信号之间的差的第二差分响应信号；  
与第二差分响应信号相比，根据第一差分响应信号来生成第一差分延迟分布曲线；  
与第一差分响应信号相比，根据第二差分响应信号来生成第二差分延迟分布曲线；以  
及

基于第一差分延迟分布曲线和第二差分延迟分布曲线来确定第一区域或第二区域内的机械变化的相对位置。

3. 如权利要求2所述的方法，其中，第一声学换能器和第三声学换能器各自包括声学传感器，所述声学传感器被配置为检测声学信号。

4. 如权利要求2所述的方法，其中，第二声学换能器包括声学发射器，所述声学发射器被配置为生成声学信号。

5. 如权利要求1所述的方法，进一步包括：

将第一监控传输信号归一化至第一基线传输信号，借以使第一基线传输信号和第一监控传输信号的最大值约等于第一选定值；

使用选定的时间窗口大小、选定的频率窗口大小和选定的时间步长来执行第一基线传输信号和第一监控传输信号的短时傅立叶变换；

计算归一化的第一监控传输信号和归一化的第一基线传输信号的短时傅立叶变换之间的第一差，从而形成第一二维轮廓图；并且

在第一二维轮廓图中识别第一频率-时间模式对，其中，所述第一频率-时间模式对的一个特征具有第一最大正值，并且所述第一频率-时间模式对的对应特征具有第一最大负值；以及

计算最大正值和最大负值之间的振幅差；

基于所述振幅差来确定在细长刚性结构的第一区域中是否发生了机械变化。

6. 如权利要求1所述的方法，进一步包括：

将第二监控传输信号归一化至第二基线传输信号，借以使第二基线传输信号和第二监控传输信号的最大值约等于第一选定值；

使用选定的时间窗口大小、选定的频率窗口大小和选定的时间步长来执行第二基线传输信号和第二监控传输信号的短时傅立叶变换；

计算归一化的第二监控传输信号和归一化的第二基线传输信号的短时傅立叶变换之间的第二差，从而形成第二二维轮廓图；并且

在第二二维轮廓图中识别第二频率-时间模式对，其中，所述第二频率-时间模式对的一个特征具有第二最大正值，并且所述第二频率-时间模式对的对应特征具有第二最大负值；以及

计算最大正值和最大负值之间的振幅差；

基于所述振幅差来确定在细长刚性结构的第二区域中是否发生了机械变化。

7. 如权利要求6所述的方法，进一步包括：在图形用户界面上显示第一二维轮廓图和第二二维轮廓图。

8. 如权利要求6所述的方法，进一步包括，使用图形用户界面识别选定的时间窗口大小、选定的频率窗口大小和选定的时间步长。

9. 如权利要求1所述的方法，其中，细长刚性结构包括金属。

10. 如权利要求1所述的方法,其中,第一区域的大小约为第二区域的大小。

11. 如权利要求1所述的方法,其中,细长刚性结构包括管道、法兰、焊缝或容器,其中所述管道包括管道组件或弯头,所述弯头包括三通或异径管,并且所述容器包括存储罐或存储箱。

12. 如权利要求1所述的方法,进一步包括:

沿着细长刚性结构生成多个基线宽带声学信号;

获得响应于第一区域中的基线宽带声学信号的多个第一基线传输信号,并且获得响应于第二区域中的基线宽带声学信号的多个第二基线传输信号;

平均选定数量的第一基线传输信号,并且平均选定数量的第二基线传输信号;以及从平均的第一基线传输信号和平均的第二基线传输信号中去除DC分量。

13. 如权利要求1所述的方法,进一步包括:

按照时间将第一监控传输信号和第二监控传输信号划分为选定数量的相等持续时间的时间区段;

计算时间区段内的第一监控传输信号和第二监控传输信号与第一基线传输信号和第二基线传输信号的互相关函数;

通过定位互相关函数的峰来确定时间区段的时间偏移;

将第一监控传输信号和第二监控传输信号的值分配给与在对应的时间偏移的时间区段处的第一基线传输信号或第二基线传输信号的值相对应的的时间区段;以及

使用基线信号作为比较信号来执行监控信号的温度补偿,从而生成温度补偿的监控信号。

14. 一种用于检测和监控细长刚性结构中的异常特征的方法,所述方法包括:

沿细长刚性结构的表面在第一位置处放置第一声学换能器;

沿细长刚性结构的表面在第二位置处放置第二声学换能器;

沿细长刚性结构的表面在第三位置处放置第三声学换能器,其中,第二位置在第一位置和第三位置之间,第一位置和第三位置之间的纵向间隔限定第一区域,第二位置和第三位置之间的纵向间隔限定第二区域;

使用第二声学换能器来沿着细长刚性结构生成多个宽带声学信号,所述多个宽带声学信号包括基线宽带声学信号和监控宽带声学信号;

使用第一声学换能器和第三声学换能器来获得响应于多个宽带声学信号的多个传输信号,所述多个传输信号包括响应于基线宽带声学信号获得的基线传输信号和响应于监控宽带声学信号获得的监控传输信号;

基于相对于基线传输信号的监控传输信号中检测的变化来确定在第一区域或第二区域中是否存在所述异常特征;

使用第二声学换能器来沿着细长刚性结构生成多个窄带信号,所述多个窄带信号包括基线窄带脉冲声学信号和监控窄带脉冲声学信号;

使用第一声学换能器来获得响应于基线窄带脉冲声学信号的第一基线响应信号和响应于监控窄带脉冲声学信号的第一监控响应信号;

使用第三声学换能器来获得响应于基线窄带脉冲声学信号的第二基线响应信号和响应于监控窄带脉冲声学信号的第二监控响应信号;

使用延迟分布曲线生成逻辑电路来生成根据第一基线响应信号和第二基线响应信号与第一监控响应信号和第二监控响应信号之间的差的多个差分延迟分布曲线;以及  
基于差分延迟分布曲线来确定第一区域或第二区域内所述异常特征的相对位置;  
其中:

获得所述基线传输信号和获得所述第一基线响应信号和所述第二基线响应信号发生在所述细长刚性结构的已知或基线条件期间,其中在所述细长刚性结构的所述第一区域或所述第二区域中可检测的异常特征的存在或不存在表示所述第一区域和所述第二区域的参考条件,

获得所述监控传输信号发生在获得所述基线传输信号之后;以及

获得所述第一监控响应信号和所述第二监控响应信号发生在获得所述第一基线响应信号和所述第二基线响应信号之后。

15. 一种用于检测和监控细长刚性结构中的异常特征的方法,所述方法包括:

沿细长刚性结构的表面在第一位置、第二位置和第三位置处放置多个声学换能器,其中,第二位置在第一位置和第三位置之间,第一位置和第二位置之间的纵向间隔限定第一区域,并且第二位置和第三位置之间的纵向间隔限定第二区域;

使用声学换能器之一来沿着细长刚性结构生成多个窄带信号,所述多个窄带信号包括基线窄带脉冲声学信号和监控窄带脉冲声学信号;

获得响应于第一区域中的基线窄带脉冲声学信号的第一基线响应信号和响应于第一区域中的监控窄带脉冲声学信号的第一监控响应信号;

获得响应于第二区域中的基线窄带脉冲声学信号的第二基线响应信号和响应于第二区域中的监控窄带脉冲声学信号的第二监控响应信号;

使用延迟分布曲线生成逻辑电路来生成根据第一基线响应信号和第二基线响应信号与第一监控响应信号和第二监控响应信号之间的差的多个差分延迟分布曲线;以及

基于差分延迟分布曲线确定第一区域或第二区域内的所述异常特征的相对位置;

其中获得所述第一基线响应信号和获得所述第二基线响应信号发生在所述细长刚性结构的已知或基线条件期间,其中在所述细长刚性结构的所述第一区域或所述第二区域中可检测的异常特征的存在或不存在表示所述第一区域和所述第二区域的参考条件,以及获得所述第一监控响应信号和所述第二监控响应信号发生在获得所述第一基线响应信号和所述第二基线响应信号之后。

## 使用多模声学信号来检测、监控和确定金属结构中变化的位置

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本国际专利申请要求于2018年4月27日提交的“使用多模声学信号来检测和监控金属结构中的变化”的美国专利申请第15/964,967号的优先权,美国专利申请第15/964,967号是2018年2月8日提交的作为2016年8月12日提交的国际专利申请号PCT/US16/46919的国家阶段申请的美国专利申请第15/751,429号的部分继续申请,要求2015年8月12日提交的美国临时专利申请第62/204,222号的权益,其两者的全部内容通过引用并入于此。

[0003] 政府支持的认可

[0004] 本发明是在美国能源部授予的合同编号DE-AC52-06NA25396的政府支持下完成的。政府拥有本发明中的某些权利。

[0005] 联合研究协议的各方

[0006] 在此所描述的研究工作是在LANL-Chevron联盟下,基于Los Alamos国家实验室(LANL)和Chevron之间的合作研究及发展协议(CRADA)(CRADA编号LA05C10518)而执行的。

### 技术领域

[0007] 本公开通常涉及对机械结构、管道、容器和存储箱中的变化的检测和监控,并且更具体地,涉及用于检测和监控机械结构中以及管道、容器和存储箱的壁体中的变化的多模声学信号传播和信号检测的使用。

### 背景技术

[0008] 在许多涉及液体或气体存储和流动的工业中,对于在诸如绝缘体下或油漆下的难以接近的环境中的机械结构中以及管道、容器和存储罐的壁体中的例如由于点蚀、破裂和断裂导致的材料损耗、材料转化(由于腐蚀和/或侵蚀)和材料增加(由于材料运移和聚集导致的)以及材料吸附的检测和监控是重要的。

[0009] 通过去除绝缘体的视觉检查来最有效地完成对绝缘体下的腐蚀的检测,这既费时又昂贵。其他检测的方法包括放射线照相术、涡流技术、X射线、远程TV监控、电磁设备、局部声学询问以及使用声学换能器的阵列的远距离声学询问。这些方法没有被广泛使用,因为它们提供的信息的范围太有限而没有实用价值,或者是因为它们涉及的装置实施起来过于麻烦或昂贵。而且,现有的用于检测刚性结构中的异常的方法不能够确定在关注区域内的异常的具体位置。

### 发明内容

[0010] 本公开的一方面涉及用于检测和监控细长刚性结构中的机械变化的方法。在一些示例中,通过在两个阶段中使用联合透射/脉冲回波技术,借以使原始的振动信号从起始换能器沿相反的方向传播(即,进入两个相邻区域)并由两个接收换能器/传感器接收,可以确定在刚性结构上识别的区域内的机械变化或异常特征的具体位置。在第一阶段中,使用透

射法来确定两个相邻区域中结构的变化的量值和频谱响应。对于一些应用来说,该第一阶段足以检测并监控细长结构的区域中的机械变化,而不需要关于该区域内变化的特定位置与程度的信息。在第二阶段中,使用在第一阶段测量中得到的信息,在脉冲回波方法中采用在特定频率处的具有一定持续时间的单调脉冲,从其可以推导任一区域内的变化的空间信息。可以通过从接收信号中减去先前记录的基线信号来分析该接收信号,以确定差分变化。该差分变化可以被用来确定任一区域是否包含机械变化,如果是,则确定在适当区域内的机械变化的位置。

[0011] 在一些示例中,刚性细长结构可以由金属制成或包括金属。刚性细长结构可以是管道、框架、起重机、梁、机械支撑或本领域已知的其他刚性结构。在一些示例中,用于沿刚性结构识别异常特征的位置的方法可以包括沿刚性结构的表面放置被配置为沿该刚性结构发射宽带声学信号和窄带声学信号的声学换能器。声学换能器还可以被配置为接收响应于宽带声学信号和/或窄带声学信号而生成的作为结果的沿该刚性结构发射并反射或散射的响应信号。在一些示例中,可以沿刚性结构放置三个这样的声学换能器,以限定两个相邻区域。例如,该方法可以包括沿刚性结构放置第一声学换能器、第二声学换能器和第三声学换能器,其中第二声学换能器被放置在第一声学换能器和第三声学换能器之间,以限定第一区域和第二区域。例如,第一位置和第二位置之间的纵向间隔可以限定第一区域。第二位置和第三位置之间的纵向间隔可以限定第二区域。

[0012] 在一些实施例中,该方法可以包括使用第二声学换能器来沿着刚性细长结构生成基线宽带声学信号。该方法可以包括使用第一声学换能器来获得响应于第一区域中的基线宽带声学信号的第一基线传输信号。该方法可以包括使用第三声学换能器来获得响应于第二区域中的基线宽带声学信号的第二基线传输信号。该方法可以包括使用第二声学换能器来沿着刚性细长结构生成监控宽带声学信号。该方法可以包括使用第一声学换能器来获得响应于第一区域中的监控宽带声学信号的第一监控传输信号。在一些实施例中,该方法可以包括使用第三声学换能器来获得响应于第二区域中的监控传输信号的第二监控传输信号。

[0013] 该方法可以包括确定作为第一监控传输信号和第一基线传输信号之间的差的第一差分传输信号。该方法可以包括确定作为第二监控传输信号与第二基线传输信号之间的差的第二差分传输信号。该方法可以包括基于该第一差分传输信号来确定在该细长刚性结构的第一区域中是否发生机械变化,或者基于该第二差分传输信号来确定在该细长刚性结构的第二区域中是否发生机械变化。

[0014] 在一些实施方式中,该方法可以进一步包括使用第二声学换能器来沿着细长刚性结构生成基线窄带脉冲声学信号。该方法可以进一步包括使用第一声学换能器来获得响应于第一区域和第二区域中的基线窄带脉冲声学信号的第一基线响应信号。该方法可以进一步包括使用第三声学换能器来获得响应于第二区域和第一区域中的基线窄带脉冲声学信号的第二基线响应信号。该方法可以进一步包括使用第二声学换能器来沿着细长刚性结构生成监控窄带脉冲声学信号。该方法可以进一步包括使用第一声学换能器来获得响应于第一区域和第二区域中的基线窄带脉冲声学信号的第一监控响应信号。该方法可以进一步包括使用第三声学换能器来获得响应于第二区域和第一区域中的基线窄带脉冲声学信号的第二监控响应信号。

[0015] 在一些示例中,该方法可以包括确定作为第一监控响应信号和第一基线响应信号之间的差的第一差分响应信号。该方法可以进一步包括确定作为第二监控响应信号和第二基线响应信号之间的差的第二差分响应信号。该方法可以进一步包括与第二差分响应信号相比,根据第一差分响应信号来生成第一差分延迟分布曲线(delay profile)。该方法可以进一步包括与第一差分响应信号相比,根据第二差分响应信号来生成第二差分延迟分布曲线。该方法可以进一步包括基于该第一差分延迟分布曲线和该第二差分延迟分布曲线来确定第一区域或第二区域内的机械变化的相对位置。

[0016] 在一些实施方式中,第一声学换能器和第三声学换能器可以各自包括被配置为检测声学信号的声学传感器。在一些实施方式中,第二声学换能器可以包括被配置为生成声学信号的声学发射器。

[0017] 在一些实施方式中,该方法可以包括将第一监控传输信号归一化到第一基线传输信号,借以使第一基线传输信号和第一监控传输信号的最大值小于或等于第一选定值。该方法可以进一步包括使用选定的时间窗口大小、选定的频率窗口大小以及选定的时间步长来执行第一基线传输信号和第一监控传输信号的短时傅立叶变换。该方法可以进一步包括计算归一化的第一监控传输信号和归一化的第一基线传输信号之间的第一差,从而形成第一二维轮廓图。该方法可以进一步包括在该第一二维轮廓图中识别第一频率-时间模式对,其中该第一频率-时间模式对的一个特征具有第一最大正值,并且该第一频率-时间模式对的对应特征具有第一最大负值。

[0018] 在一些实施方式中,该方法可以进一步包括将第二监控传输信号归一化到第二基线传输信号,借以使第二基线传输信号和第二监控传输信号的最大值小于或等于第二选定值。该方法可以进一步包括使用选定的时间窗口大小、选定的频率窗口大小以及选定的时间步长来执行第二基线传输信号和第二监控传输信号的短时傅立叶变换。该方法可以进一步包括计算归一化的第二监控传输信号和归一化的第二基线传输信号之间的第二差,从而形成第二二维轮廓图。该方法可以进一步包括在第二二维轮廓图中识别第二频率-时间模式对,其中该第二频率-时间模式对的一个特征具有第二最大正值,并且该第二频率-时间模式对的对应特征具有第二最大负值。

[0019] 在一些实施方式中,该方法可以进一步包括在图形用户界面上显示该第一二维轮廓图和该第二二维轮廓图。在一些示例中,该方法可以进一步包括使用图形用户界面来识别选定的时间窗口大小、选定的频率窗口大小以及选定的时间步长。在一些实施方式中,第一区域的大小大约为第二区域的大小。

[0020] 细长刚性结构可以由诸如金属的刚性材料制成。在一些示例中,细长刚性结构包括管道、管道组件、法兰、弯头、三通、异径管、焊缝、容器、存储罐或存储箱。在一些实施方式中,该方法可以进一步包括过滤第一监控传输信号和第二监控传输信号。例如,基线宽带声学信号和监控宽带声学信号各自具有在大约1kHz至大约1MHz之间的频率。

[0021] 在一些实施方式中,该方法可以进一步包括沿着刚性细长结构生成多个基线宽带声学信号。该方法可以包括获得响应于第一区域中的基线宽带声学信号的多个第一基线传输信号以及响应于第二区域中的基线宽带声学信号的多个第二基线传输信号。该方法可以进一步包括,对于当第一区域或第二区域中不存在机械变化时的基线条件,平均选定数量的第一基线传输信号以及平均选定数量的第二基线传输信号。该方法可以进一步包括从平

均的第一基线传输信号和平均的第二基线传输信号中去除DC分量。

[0022] 在一些实施方式中,该方法可以包括通过与第一基线传输信号和第二基线传输信号相比来执行第一监控传输信号和第二监控传输信号的温度补偿,来生成温度补偿的监控传输信号的集合。

[0023] 在一些实施方式中,该方法可以进一步包括按照时间将第一监控传输信号和第二监控传输信号划分为选定数量的相等持续时间的时间区段(bin)。该方法可以进一步包括计算在时间区段内的第一监控传输信号和第二监控传输信号与第一基线传输信号和第二基线传输信号的互相关函数。该方法可以进一步包括通过定位该互相关函数的峰来确定该时间区段的时间偏移。该方法可以进一步包括将第一监控传输信号和第二监控传输信号的值分配给与在对应的的时间偏移的时间区段处的第一基线传输信号和第二基线传输信号的值相对应的的时间区段。

[0024] 本公开的另一方面涉及用于检测和监控细长刚性结构中的异常特征的方法。该方法可以包括沿刚性结构的表面在第一位置处放置第一声学换能器。该方法可以包括沿刚性结构的表面在第二位置处放置第二声学换能器。该方法可以包括沿刚性结构的表面在第三位置处放置第三声学换能器,其中,第二位置在第一位置和第三位置之间,第一位置和第三位置之间的纵向间隔限定第一区域,并且第二位置和第三位置之间的纵向间隔限定第二区域。该方法可以包括使用第二声学换能器来沿着刚性细长结构生成多个宽带声学信号。该方法可以包括使用第一声学换能器和第二声学换能器来获得响应于宽带声学信号的多个传输信号。该方法可以包括基于传输信号中检测的变化来确定在第一区域或第二区域中是否存在异常特征。该方法可以包括使用第二声学换能器来沿着细长刚性结构生成多个窄带信号。该方法可以包括使用第一声学换能器来获得响应于窄带信号的第一基线响应信号和第一监控响应信号。该方法可以包括使用第三声学换能器来获得响应于监控窄带信号的第二基线响应信号和第二监控响应信号。该方法可以包括使用延迟分布曲线生成逻辑电路和/或算法来生成随第一基线响应信号和第二基线响应信号与第一监控响应信号和第二监控响应信号之间的差而变化的多个差分延迟分布曲线。该方法可以包括基于差分延迟分布曲线来确定第一区域或第二区域内的机械变化的相对位置。

[0025] 在一些实施方式中,获得第一基线响应信号和第二基线响应信号可以发生在细长刚性结构的第一区域或第二区域中不存在可检测的异常特征的基线条件期间。例如,获得第一监控响应信号和第二监控响应信号发生在获得第一基线响应信号和第二基线响应信号之后。

[0026] 在一些实施方式中,该方法可以包括确定作为第一监控响应信号和第一基线响应信号之间的差的第一差分响应信号。该方法可以进一步包括确定作为第二监控响应信号和第二基线响应信号之间的差的第二差分响应信号。该方法可以进一步包括与第二差分响应信号相比,根据第一差分响应信号来生成第一差分延迟分布曲线。该方法可以进一步包括与第一差分响应信号相比,根据第二差分响应信号来生成第二差分延迟分布曲线。

[0027] 显示差分延迟分布曲线可以包括在图形用户界面上呈现图形制图。窄带声学信号可以是高斯包络脉冲。

[0028] 在一些实施方式中,可以同时地采用多个发射传感器,以提高信号强度,并且因此提高测量中的信噪比。多个发射传感器可以彼此紧密邻近地放置或者跨扩展区间分布。在

分布式的多个传感器的情况下,发射信号可以更均匀地跨扩展结构分布,从而改善对复杂的几何结构中的机械变化或者异常特征的检测。接收传感器将执行与以上描述类似的操作。也可以类似地执行诸如归一化、取差、温度补偿、傅立叶变换等的信号分析。

[0029] 在参考全部形成本说明书的部分的附图来考虑以下说明书和所附权利要求书时,本技术的这些和其他特征和特性以及结构的有关元件的操作方法和功能以及部分与制造的经济性的结合将更加显而易见,其中,在各种附图中相同的附图标记表示对应的部分。然而,要明确理解的是,附图仅是出于说明和描述的目的,而不意图为限制本发明。如说明书和权利要求书中所使用的,除非上下文另外明确地指出,否则单数形式的“一个”、“一种”以及“该”包括复数指代。

## 附图说明

[0030] 并入说明书中并形成说明书的部分的附图示出了本公开的实施例,并且与说明书一起用于解释所公开的技术的原理。在附图中:

[0031] 图1A是适合用于实践所公开的技术的方法的实施例的基础装置的实施例的示意性表示图,其示出了线性管道分段,同时图1B是可以采用本装置的更复杂的管道构造的示意性表示图。

[0032] 图1C示出了根据一个或多个实施方式的可以在其中发送和接收声学信号的示例刚性结构的表示图。

[0033] 图2示出了线性调频信号沿着具有10英寸的直径和1/2英寸的壁体厚度的空腐蚀管道传输20英尺之后的接收信号。

[0034] 图3示出了线性调频信号沿着图2中所述的空腐蚀管道传输20英尺之后相同的接收信号,但在此通过在管道壁体上附连12个小磁体来扰乱管道,从而在该管道壁体上生成大约3%的局部体积变化。

[0035] 图4A至图4C是通过取图2和图3中所示的第一(基线)信号强度和第二(扰乱)信号强度之间的差而计算出的归一化的差分短时傅立叶变换(ND-STFT)信号的曲线图,在此,图4A至图4C分别针对2个、4个和12个附连的磁体。

[0036] 图5是ND-STFT图中最大高度和最小深度的差随附连的磁体而变化的曲线图。

[0037] 图6是对于已经沿着具有20英尺的长度、 $2\frac{3}{4}$ 英寸的直径以及1/4英寸的壁体厚度的未腐蚀管道行进的信号,ND-STFT图中最大高度和最小深度的差(即,最大信号差)或等同的STFT差信号强度随去除的材料(或点蚀体积比)而变化的曲线图。

[0038] 图7是已经在其中采用了4个发射换能器以及1个接收换能器的圆柱形的容器的长度上行进的没有扰乱的(基线)接收信号的曲线图。

[0039] 图8A至图8C分别是基线信号与通过研磨去除了0.2cc、0.6cc和1.2cc的材料之后的信号之间的ND-STFT差信号的曲线图。

[0040] 图9是ND-STFT图的最大高度和最小深度(即最大信号差)随空容器中去除的材料而变化的曲线图。

[0041] 图10是ND-STFT图的最大高度和最小深度之间的差(即最大信号差)随给空容器增加的材料(磁体)而变化的曲线图。

[0042] 图11A是针对长105英尺的管道组件的25英尺分段的温度补偿信号和非温度补偿

信号两者的信号差振幅随时间而变化的曲线图,同时图11B是示出了针对图11A中所示的数据计算出的各个区段(总共25个区段)的特定延迟时间的曲线图。

[0043] 图12A是针对长105英尺的管道组件的50英尺分段的温度补偿信号和非温度补偿信号两者的信号差振幅随时间而变化的曲线图,同时图12B是示出了针对图12A中所示的数据计算出的各个区段(总共25个区段)的特定延迟时间的曲线图。

[0044] 图13A是针对长105英尺的管道组件的100英尺分段的温度补偿信号和非温度补偿信号两者的信号差振幅随时间而变化的曲线图,同时图13B是示出了针对图13A中所示的数据计算出的各个区段(总共50个区段)的特定延迟时间的曲线图。

[0045] 图14是通过映射声学振幅、时间和频率数据而计算出的归一化的可操作输出随累积的局部体积损耗而变化的曲线图,该曲线图可以被用于确定是否需要采取关于管道安全的措施的指导。

[0046] 图15A示出了根据一个或多个实施方式的用于检测和监控细长刚性结构中的机械变化的方法。

[0047] 图15B示出了根据一个或多个实施方式的用于检测和监控细长刚性结构的区域中的机械变化的方法。

[0048] 图16A示出了根据一个或多个实施方式,对于在细长刚性结构内的磁体的方位角分布,基于第一差分宽带响应信号的可操作输出关于磁体扰乱距离的曲线图。

[0049] 图16B示出了根据一个或多个实施方式,对于在细长刚性结构内的磁体的方位角分布,基于第二差分宽带响应信号的可操作输出关于磁体扰乱距离的曲线图。

[0050] 图17A示出了根据一个或多个实施方式,对于在细长刚性结构内的磁体的轴向分布,基于第一差分宽带响应信号的可操作输出关于磁体扰乱距离的曲线图。

[0051] 图17B示出了根据一个或多个实施方式,对于在细长刚性结构内的磁体的轴向分布,基于第二差分宽带响应信号的可操作输出关于磁体扰乱距离的曲线图。

[0052] 图18A示出了根据一个或多个实施方式的针对在给定的距离处的磁体的方位角分布的第一差分窄带响应信号的迹线。

[0053] 图18B示出了根据一个或多个实施方式的针对在给定的距离处的磁体的方位角分布的第二差分窄带响应信号的迹线。

[0054] 图19A示出了根据一个或多个实施方式的针对在给定的距离处的磁体的方位角分布的第一差分窄带响应信号的迹线。

[0055] 图19B示出了根据一个或多个实施方式的针对在给定的距离处的磁体的方位角分布的第二差分窄带响应信号的迹线。

[0056] 图20A示出了根据一个或多个实施方式的针对在给定的距离处的磁体的方位角分布的第一差分窄带响应信号的迹线。

[0057] 图20B示出了根据一个或多个实施方式的针对在给定的距离处的磁体的方位角分布的第二差分窄带响应信号的迹线。

[0058] 图21A示出了根据一个或多个实施方式的比较缺陷的估计距离和实际距离的差分窄带响应信号的时域分析。

[0059] 图21B示出了根据一个或多个实施方式的比较归一化的信号强度和缺陷的实际距离的差分窄带响应信号的信号强度分析。

[0060] 图21C示出了根据一种或多种实施方式的比较一个或两个缺陷的估计距离和实际距离的差分窄带响应信号的曲线图。

### 具体实施方式

[0061] 简要来说,所公开的技术的实施例包括用于在诸如绝缘体下或油漆下的难以接近的环境中的诸如管道、容器、存储罐、弯头、法兰、异径管、三通和焊缝的金属结构的腐蚀和/或侵蚀以及其他缺陷的声学检测和大区间监控的方法。另外,可以监控涉及弯头和法兰等的各种管道几何结构和复杂的管道几何结构。

[0062] 本方法包括:(i)具有针对结构/管道/容器/罐和预见的缺陷而优化的振幅、时间和频率特性的声学信号生成、传输与接收;(ii)声学数据获取以及获取的数据的数值分析;以及(iii)为了缺陷识别和缺陷量化而将振幅、时间和频率声学数据特性以及分析结果映射为可操作信息。

[0063] 在允许的多种声学模式之间的信号能量分布中可检测和可识别的变化是由于机械的变化或缺陷对穿过许多管道和容器部段(或者系统)的多模声学信号的传播的影响而导致的,虽然该声学信号的总能量是守恒的。即,缺陷主要地导致了从一种模式到另一种模式的声学波的弹性散射,虽然总的声学信号能量的差分衰减通常是小的。有效生成声学散射和衰减的机械扰乱包括材料损耗(点蚀、破裂、断裂和侵蚀)、材料转化(腐蚀产物)、材料增加(材料运移和聚集)以及材料吸附,它们各自在振幅、时间以及频率相位空间中具有特定的散射/衰减特性。

[0064] 根据所公开的技术的实施例的指导,在诸如管道的端部,或者容器、存储罐的顶部和底部,或者弯头、法兰、异径管、三通或焊缝等的少数的可接近和方便的位置处生成和接收声学信号。声学信号具有在管道、容器、罐、弯头、法兰、异径管、三通或焊缝中有效激励关注的多种模式的振幅、时间和频率特性,并且这种信号在发射换能器和接收换能器之间的检查区域中传播。一旦结构、管道、容器、罐、弯头、法兰、异径管、三通或焊缝表征为诸如刚刚安装后或经过详细的检查后的已知或基线状态或条件时,本方法将通过信号差分和分析来在多年间持续地或按需地(例如,一天几次、一周一次或一月一次)监控检查区域内的声学信号的传输特性的细微变化以及识别并量化缺陷形成。例如,可以通过嵌入式的或机械地附连的换能器或者通过非接触式空气耦合或远程光耦合来访问声学输入和输出。

[0065] 可以针对关注的系统中的高信噪比来优化声学数据获取。信号分析使用例如傅立叶变换、短时傅立叶变换、小波变换、相位延迟分析、希尔伯特频谱分析和希尔伯特黄变换来将信号的幅度、时域和频域测量与这种多维数据集相对于基线条件下的那些多维数据集的变化的识别和测量相结合。

[0066] 用于缺陷识别和量化的对测量的信号特性和分析结果的映射允许将测量和分析的数据解释为可操作信息。

[0067] 接收的声学数据为随时间变化的发射电信号的振幅的形式,并且,它们的获取是相对于以例如调频信号(使用从信号源到接收器仪器的触发信号)的形式的重复的输入激励而精确地定时的,使得可以使用时间平均(通常在64次到4096次之间)。时间平均改善了信噪比(SNR),并使该方法对环境中的其他声学(噪声)源相对不灵敏。在频域中过滤接收信号仅允许关注的频谱分量到达接收器,从而进一步改善SNR。

[0068] 作为可以执行的信号分析的示例,然后使用具有优化的窗口大小和步长的参数(该参数可以依赖于管道(容器)的长度和/或管道或容器的特性而变动)的短时傅立叶变换(STFT)算法来将时间平均并过滤过的接收信号变换为二维轮廓/表面图。STFT图显示接收信号强度随时间和频率而变化的分布;即,发射信号的哪些频率分量在什么时间、以什么强度到达。联合的频谱和时间延迟信息容许管道或容器的基线特性以及对管道或容器的扰乱对于声学信号传输的影响被表征出来。

[0069] 基线STFT图构成参考水平,相对于该参考水平,可以分析诸如从管道壁体的材料增加和损耗、管道壁体上的水聚集、与管道壁体的材料接触、由于腐蚀导致的管道壁体的材料变换、由于下垂(可能是由于向管道填充液体导致的)导致的管道壁体中的应变等的扰乱影响。

[0070] 本方法的实施例的检测灵敏度是可以被可再现地测量的最小扰乱量;本方法的实施例已经在管道长度不超过大约100英尺、局部体积变化<1%的水平的管道或容器壁体中测量了由于材料增加和材料去除(或损耗)两者导致的扰乱影响。检测选择性需要在诸如管道壁体上的水聚集、夹紧、下垂、由于腐蚀导致材料转化或损耗、由于腐蚀点蚀导致材料损耗、管道与异物固态物体的接触等的声学扰乱的直接原因之间进行区分。例如,管道壁体上的水会在宽的信号的频谱范围内生成相对均匀的衰减,伴随最小的散射,因此它很容易与管道上的腐蚀点蚀以及其他缺陷区分开来,这些腐蚀点蚀以及其他缺陷主要导致沿管道和容器的壁体传播的特定的声学模式到具有特定的时间延迟的其它模式的弹性散射。

[0071] 与腐蚀和其他缺陷相比,管道或容器的壁体上的油漆(或油漆缺口)具有小得多的声学扰乱影响。与在管道和容器上的腐蚀或其他缺陷形成相比,围绕管道和容器的绝缘体对声学波传输也产生了较弱的影响。夹紧管道导致声学信号的强散射,并且可以在量值上压倒由于腐蚀或其他缺陷导致的散射影响。然而,由于夹紧导致的散射的频率分布预期比从局部腐蚀散射中将预期的频率分布的宽广得多,并且因此,散射信号可以被区分。当在管段分段上增加夹具或从管段分段上去除夹具时,也可以通过生成新的基线来避免来自夹紧的影响的错误信号。

[0072] 紧靠管道局部地布置的异物固态材料预期产生与由于管道或容器壁体的材料增加而导致的声学信号散射类似的声学信号散射,并且预期的是难以区分这些影响。由于部件的重量随时间导致的下垂预期是导致管道中的空间扩散应变场。这种离域应变场可能导致声学波的弱散射和衰减。然而,这种散射和衰减的量值和频谱特征两者都应该与由于来自腐蚀或其他缺陷的局部扰乱导致的散射分辨开来。

[0073] 检测稳健性或可靠性是指本方法的长期可行性,其中基线可以被用来长时间段地(在某些应用中多年地)监控扰乱影响。为了实现这种稳健性和可靠性,补偿温度的影响,并过滤有害的环境噪声。温度影响可能存在于:声学换能器响应;换能器与诸如管道的被询问介质之间的耦合系数;声学信号在介质中的传播;以及电子器件的传递函数。由于这些因素中的每个因素而引起的温度影响的特性和相对重要性将取决于整个系统的具体情况。然而,如果在进行初始测量时记录了温度,并且在该温度的几摄氏度内进行了随后的测量,则这种温度影响可能太小而无法改变测量结果。然而,如果温度变动大于几摄氏度,则可能有必要采用用于温度补偿的方法。类似地,环境噪声取决于系统所驻留的位置;因此,噪声过滤可以被调整以适应环境的具体情况。

[0074] 如以下将描述的,已经开发了温度补偿算法,并发现该算法可提高信噪(S/N)比,从而改善测量灵敏度。

[0075] 本方法的实施例包括使用声学询问从有限数量和区间的接近位置检测管道、容器和结构中的腐蚀(在两个换能器之间由此被监控的最少两个分段,在管道的用于激励和接收发射的声学信号的两端处)。通常,发射换能器和接收换能器被均匀地分布在管道的表面上,相距大约2英尺至大致200英尺,且要被监控的部分在它们之间。管道分段可以是直的、弯曲的、带法兰的或者可以在其上具有焊接部分。在大多数情况下,管道分段可以在2英尺至200英尺之间,并且本方法类似地适用于管道的横截面尺寸远小于管道的长度的情形。附连到管道的大法兰、T形分段或者4通或6通交叉部可以被单独地监控。

[0076] 现在将详细参考所公开的技术的当前实施例,其示例在附图中示出。在附图中,将使用相同的附图标记来标识相似的结构。将理解的是,附图是出于描述所公开的技术的特定实施例的目的,并且不旨在将本发明限制于此。现在转向图1A,图1A示出了用于实践所公开的技术的方法的实施例的装置10的示意性表示图。信号源12提供由放大器14放大的选择的超声信号至一个或多个发射换能器16,所示一个或多个发射换能器16架置在线性管道分段或容器部段18的一端处。来自发射换能器16的穿过了管道或容器分段18传播的声学信号由安置在该管道或容器分段18的相对端处的接收换能器20检测。由接收换能器20生成的电信号在被定向到与信号源12同步的信号接收器26(利用相对于信号源12的特定时间延迟被触发)之前,由放大器22放大,并由滤波器24过滤。这些信号由信号接收器26处理,并且处理后的信号被定向到计算机28用于数据获取和分析。计算机28也控制元件12、14、22、24和26。

[0077] 单独的前置放大器和滤波器模块可以被用于各个换能器,所有电子部件都使用同轴电缆或USB电缆被线接在一起。在该配置中,使用任何换能器作为发射传感器或接收传感器都需要重新连接导线,尽管所有的换能器都是同样的,并且无需任何修改即可用作发射传感器或接收传感器。全部被无线地连接到用于仪器控制、数据获取以及数据分析的中央计算机的传感器和通信装置的网络可以被用于容纳多个换能器。各个传感器将具有唯一的RFID标签以及用于发射和接收两个功能的集成电子模块。这种双重功能将使系统易于重新配置,并且增强抵御有缺陷或故障的传感器部件的稳健性。供给传感器和集成模块的电力可以由电池提供,并且充电能量可能从例如太阳能或环境振动中获得。

[0078] 容器可以分部段地被监控,其中各个部段具有相对均匀的壁体厚度和物理邻近度。如果容器部段具有诸如焊接肋或其他物理附连部的显著的不均匀性,则可以使用(多个)发射换能器和(多个)接收换能器。发射换能器和接收换能器的数量将与部段的不均匀性以及部段的区间大小相称。增加发射换能器的数量将允许更均匀的声学激励,并且对部段的“所有”部分采样将导致更好的对腐蚀和其他缺陷的检测的灵敏度、选择性以及稳健性。另外,增加的接收换能器的数量将向系统引入冗余,这将使本方法更加可靠和稳健。

[0079] 图1B是可以根据所公开的技术的实施例来监控的具有更复杂的附连管道分段的系列的管道组件19(具有两个90°弯头、8个焊接接头以及1对法兰的长105英尺、直径8英寸的Schedule-40碳钢管道,该组件由10个支架支撑)的示意性表示图。五个均匀间隔(相隔大致25英尺)的换能器16、20a、20b、20c和20d沿管道的大约100英尺的具有弯曲分段30(两个90°弯头)的分段永久附连。尽管只有一个换能器16被标识为发射换能器(图1A),但所有五个换能器都可以发射和接收。当最靠近的传感器被用于发射和接收时,标记为1到4的区域

使用图1A所示的装置限定管道的最小询问区间(长度约为25英尺)。例如,区域4是管道组件的介于传感器4(20c)和传感器5(20d)之间的大致25英尺的分段,包括法兰连接部32以及材料去除区间34。较大长度的区间可以通过使用分开更远的传感器来询问。例如,通过使用传感器1(16)作为激励(发射)传感器并使用传感器5(20d)作为接收传感器,可以在同一时间询问所有四个区域。也示出了三个焊接分段36a至36c以及商用传感器阵列轴环38。

[0080] 如上所述,各个附连的换能器既可以用作发射换能器,也可以用作接收换能器,因此,当要监控互相连接的管道和容器部段的网络时,不需要在某些相邻的管道分段或容器部段中附连额外的换能器。

[0081] 沿着管道分段的长度使用多个传感器来监控管道部段,可以导致关于在何处发生变化的附加定位信息。可能通过监控毗邻区域中信号的振幅来提供对区域中的主要的壁体损耗的位置的一些估计。具体来说,毗邻区域中信号的振幅随着从共享发射换能器到主要的壁体损耗的距离而降低。可以被用于估计主要的壁体损耗的位置的另一毗邻影响与主要的散射信号的到达时间有关。来自相邻区域的主要的散射信号的延迟时间与从毗邻区域另一端上的发射换能器和接收换能器到主要的壁体损耗区间的距离有关。

[0082] 图1C示出了根据一个或多个实施方式的可以在其中发送和接收声学信号的示例刚性结构的表示图。刚性结构40可以包括两个区域(42和44)。刚性结构40可以包括换能器48、54和60。换能器48、54和60可以分别生成声学信号50和52、56和58以及62和64。信号50、52、56、58、62和64可以是宽带信号、窄带信号和/或其他类型的信号。信号50、52、56、58、62和64可以包括脉冲回波,使得多个信号大约在同一时间被发送。发送相对同时的信号可以帮助识别区域42和/或44的哪个部分具有缺陷。信号50、52、56、58、62和64可以是单调高斯包络脉冲,以帮助确定信号50、52、56、58、62和64中的延迟差。图1C可以类似于图1A地操作。

[0083] 换能器48可以从换能器54接收或获得信号56。

[0084] 在一个示例中,用于定位刚性结构上的异常特征的方法可以包括选择具有在大约1和大约100V之间的信号强度的频率调频信号。该方法可以包括选择在大约10kHz和大约200kHz之间的频谱内容。在具有在1/8英寸和4英寸之间的范围的壁体厚度的管道和容器中,有支持声学信号以kHz至MHz的频率传播的几种纵向、扭转和弯曲(flexural)的模式(分别是L模式、T模式和F模式)。因此,在大约1kHz至大约1MHz之间对腐蚀和其他缺陷的声学询问是有效的,因为这种声学模式对各种缺陷和机械扰乱都是灵敏的。对于询问激励信号而言,大约0.1ms和大约10ms之间的持续时间以及大致10ms至大致1000ms之间的重复率是有用的;

[0085] 在一些示例中,可以使用在大约64次和大约4096次之间的重复的时间平均。在一些示例中,可以使用诸如带通滤波器和/或低通滤波器和/或高通滤波器的滤波器来过滤信号。在一些示例中,滤波器可以从第一接收信号中去除DC分量,使得仅AC分量保留。该方法还可以包括将第一接收信号和第二接收信号的信号强度归一化,使得任一信号中的最强分量等于选择的数。该方法可以包括对时间平均的第一AC接收信号和第二AC接收信号执行具有选择的时间和频率窗口大小以及时间步长的STFT(例如,对于长20英尺、直径 $2\frac{3}{4}$ 英寸(壁体厚度1/4英寸)的管道,使用1024的Hamming窗口大小和32的步长大小以及1kHz的频率增量和100ns的时间增量)。

[0086] 在一些示例中,该方法可以包括:取以类似于基线或参考STFT的方式获得的在选

择的时间 $T$ 处(当预期有扰乱时或者在例行测试期间,且基线或参考ND-STFT在 $T=0$ 处)的归一化的第一STFT 2D表面/轮廓图和第二STFT 2D表面/轮廓图之间的差,形成示出声学模式之间的能量损耗和能量增益的新的STFT 2D表面/轮廓图。

[0087] 在一些示例中,该方法可以包括在可以辨别(一个或多个)散射事件(或事件的集合)(散射事件将在ND-STFT图中显现为凸起或波峰(正信号),并带有相应的凹陷或波谷(负信号))的2D图中识别特定的(一个或多个)频率-时间模式对。

[0088] 在一些实施例中,该方法可以包括生成ND-STFT图中具有最大高度的特征的波峰与具有最小深度的对应特征的波谷之间的振幅差(即,最大信号差)。该方法还可以包括使用根据上文所述方法的实施例中的步骤8计算出的最大信号差(或ND-STFT信号范围),这是将二维数据映射到标量的一种方式。如将在示例中描述的,该手段已经被成功地用于量化管道分段或容器部段中的腐蚀或缺陷的水平,并且发现可以产生管道和容器的机械扰乱(材料损耗或材料增加)的水平和ND-STFT信号范围之间的单调、近似线性的关系。

[0089] 如上所述,超声波可以穿透结构元件的厚度并且可以长距离地行进,这允许通过使用少量的空间分布的超声传感器一次地对大区间进行询问,且损害是通过基线减法检测的。当环境条件和运行条件变化时,传播介质和超声波行为也会变化,这限制了基线比较在将损害从环境和运行影响中区分开来的有效性。普遍存在的环境影响是温度变化。在结构监控应用中,已经开发并实施了许多补偿温度的方法,这些方法在不同条件下具有不同的有效性。根据本方法的实施例的指导,为广泛的测试条件的集合提供了有效的温度补偿:1)在镜面或扩散机制中,具有多种模式或混合模式的超声激励;2)在同质和非同质的介质中,涉及多次反射以及宽频谱和宽时间范围信号的超声传播;3)对于被询问介质中宽范围的全局和局部温度波动的自主补偿,而无需知道实际的全局或局部温度。

[0090] 诸如最优信号拉伸(OSS)方法的现有的温度补偿方法通过对所有预期的结果的多次迭代来估计拉伸因子,这在计算上是低效的。此外,这些方法最适合用于具有纯时间-拉伸影响的简单几何结构,然而本方法的实施例适用于具有时间-拉伸以及信号失真影响的更复杂的几何结构。

[0091] 用于温度补偿的本方法的实施例对以下情况是有效的:单种模式以及多种且混合的模式;具有各种反射成分的同质和非同质的介质;以及在存在全局和局部温度变动两者的情况中。在会存在局部和全局温度变动的真实世界的监控系统中,单个时间拉伸因子不足以充分地补偿温度的影响,并且现实的结构将具有不同程度的非同质性(导致对应的不同的反射量),并将支持在不同的温度影响下的超声波传播的各种模式。因此,本方法生成适当的时间延迟因子的集合,以替换在其他温度补偿方法中普遍使用的单个时间拉伸因子。

[0092] 当超声信号到达接收传感器时,它们聚集了它们在管道中遇到的所有相移,并且如此被相移的所有模式和反射结合以形成复杂的波形。该波形是按时间分布的。如将在下面描述的,该时间分布的波形被划分为区段,使用单个延迟因子对波形部段的各个区段进行温度补偿。使用实时测量的数据与先前测量的基线数据之间的互相关来计算用于各个区段的延迟因子,而不用任何关于被询问介质中的温度的局部或全局变化的直接了解。各个区段的时间延迟是互相关函数的峰值位置。一旦各个区段都进行了温度补偿,则这些区段被结合以形成温度补偿的波形。

[0093] 区段的最小大小由关注的超声波的最小波长确定,并且区段的最大大小由将要被补偿的相移的时间延迟依赖性确定。在实践中,按经验或按理论来优化区段尺寸;为了实践的监控系统中的充分的温度补偿,区段通常在大致0.01ms和大约1ms之间。区段的数量也取决于监控系统的具体情况。在实践中,区段的数量可以在大约10和大约1000之间变动。

[0094] 本公开的实施例可以为管道和容器的变化提供灵敏的和选择性的诊断,本公开的实施例包括:

[0095] 1.管道/容器壁体上的水聚集,这可能是腐蚀的预兆;

[0096] 2.显著的油漆缺口或主要的绝缘体退化,这同样可能是腐蚀的预兆;

[0097] 3.过度的管道下垂,这可能导致微破裂或其他机械退化;

[0098] 4.强烈地倚靠在管道或容器壁体上的固态物体,这可能导致管道完整性的局部退化;以及

[0099] 5.管道壁体的内部堵塞或管道的阻塞,这可能导致流动问题和/或内部腐蚀等。

[0100] 在长50英尺的管道的管道壁体分段中,可以检测到小于0.1%的体积变化。

[0101] 已经概括地描述了所公开的技术,以下示例提供额外的细节。示例1至示例4描述ND-STFT方法(1)。

[0102] 示例1

[0103] 通过在管道壁体上小磁体的附连来证明材料增加的影响:

[0104] 图2示出了在沿着具有10”(英寸)的直径和大致1/2”的壁体厚度的空腐蚀管道传输20英尺之后的用作基线的接收信号。发射的线性调频的峰-峰值为10V,在5kHz至200kHz之间,持续时间为1ms,并且每100ms重复。图3示出了沿着具有如在图2中所提到的10”的直径和大致1/2”的壁体厚度的空腐蚀管道传输20英尺之后的相同的接收信号,但此次通过在管道壁体上附连12个小磁体来扰乱管道,在管道壁体上生成大约3%的局部体积变化。第一印象是,两个归一化的信号在时域/频域上显示很小的差异。

[0105] 图4A至图4C是通过取上文所讨论的图2和图3所示的第一(基线)信号强度和第二(扰乱)信号强度之间的差来计算得出的ND-STFT信号的曲线图,图4A至图4C分别针对2个、4个和12个附连磁体,同时,图5是ND-STFT图中最大高度和最小深度的差(即,最大信号差)随所附连的磁体而变化的曲线图。

[0106] 示例2

[0107] 对于具有20’(英尺)的长度、 $2\frac{3}{4}$ ”的直径、W’的壁体厚度的未腐蚀管道,通过在管道壁体上钻出凹口的材料去除的影响:

[0108] 图6是ND-STFT图中最大高度和最小深度之差(即最大信号差)或相等地,STFT差信号强度,随去除的材料(或点蚀体积比)变化的曲线图。

[0109] 示例3

[0110] 通过在容器壁体上研磨出孔的材料去除的影响(在这种情况下,容器部段是整个容器),其中采用了4个发射换能器和1个接收换能器:

[0111] 图7是在没有扰乱的情况下(基线)的接收信号的曲线图,同时图8A至图8C是ND-STFT信号的曲线图(基线与通过研磨分别去除0.2cc、0.6cc和1.2cc的材料之后之间的差)。

[0112] 图9是针对空容器的ND-STFT图的最大高度和最小深度之间的差(即,最大信号差)随去除的材料而变化的曲线图。

[0113] 示例4

[0114] 通过在容器壁体上的磁体的附连的材料增加的影响(在这种情况下,容器部段是整个容器),其中采用了4个发射换能器和1个接收换能器:

[0115] 图10是针对空容器的ND-STFT图的最大高度和最小深度之间的差(即,最大信号差)随增加的材料(磁体)而变化的曲线图。

[0116] 示例5示出了温度补偿的ND-STFT方法(3)的使用。

[0117] 示例5

[0118] 下面针对在长大致105英尺的管道组件上进行的实验来给出温度补偿的示例。在图11A、图11B、图12A、图12B、图13A和图13B中,25英尺的传感器距离是针对作为发射器执行的换能器20a和作为接收换能器执行的换能器20b;50英尺的传感器距离是针对作为发射器执行的换能器20b和作为接收器执行的换能器20d;以及105英尺的传感器距离是针对换能器16和换能器20d。

[0119] 图11A是在测量之间没有材料损耗、转化或增加的情况下,对于温度补偿信号和非温度补偿信号两者,信号差振幅随时间变化的曲线图。如上所述,通过在时域中从随后的测量信号中减去参考(基线)信号来计算非温度补偿信号差,而通过从温度补偿的随后的测量信号中减去参考信号来计算补偿信号差。如在图11A中可以观察到的,差信号的振幅在温度补偿之后显著地降低;即,由于温度变动引起的虚假信号显著地降低。因此,温度补偿降低了虚假信号水平,从而导致改善的用于检测材料增益或损耗的灵敏度限制。

[0120] 图11B是示出针对图11A中所示的数据的各个区段(总共25个区段)计算出的特定的延迟时间的曲线图。如以上提到的,这些延迟时间被用于偏移各个区段中的时域波形,并且根据各个区段中的这种补偿波形的组合来生成温度补偿信号。因此,图11A和图11B显示了温度补偿对信号的影响,以及为实现该结果而为各个区段计算的特定的延迟。

[0121] 图12A和图12B是示出对于50英尺的换能器距离使用25个区段的相同的结果的曲线图,并且图13A和图13B是示出对于100英尺的换能器距离使用50个区段的相同的结果的曲线图。图11B和图12B的斜率是正的,因为温度变动是正的,而图13B的斜率是负的,因为温度变动是负的。

[0122] 可以通过使用定义为没有补偿的虚假差信号强度与具有补偿的虚假差信号强度的比的灵敏度提高因子(SIF)来量化温度补偿的有效性。在一些示例中,该方法可以包括选择具有选定的参数的频率调频信号。例如,频率调频可以具有在大约1V和大约100V之间的信号强度。示例频率调频可以包括在大约10kHz和大约200kHz之间的频谱内容。在一些实施例中,频谱调频可以具有在约0.1ms和约10ms之间的持续时间。示例频率调频可以具有在大约10ms和大约1000ms之间的重复率。

[0123] 实施例可以包括计算时间平均(例如,在大约64和大约4096次重复之间的时间平均)并过滤接收信号。例如,过滤可以包括应用带通滤波器、低通滤波器、高通滤波器或本领域已知的其他滤波器。接收信号可以是参考信号或基线信号。

[0124] 实验可以表明,当存在不同的模式时,介质不同质时,有显著的散射波时以及有局部温度变化和全局温度变化时,所公开的方法可以补偿温度的影响,而对于模拟或真实损害导致的波形变化几乎没有虚假影响。

[0125] 图14是对于图1B中所述的长105英尺的管道组件,100英尺的传感器到传感器的距

离,归一化的可操作输出(标量)随聚集的局部体积损耗而变化的曲线图。通过使用研磨机从管道壁体上去除材料来模拟管道壁体上的体积损耗。沿着管道的轴线以具有小的遮盖影响的正方形凹口的形状去除在0.1%和0.8%之间的局部体积损耗的材料。当相对于上一个正方形凹口来周缘地去除材料时,获得了1%和1.2%的数据。在这种情况下,没有观察到显著的遮盖影响。这些结果表明,本方法的实施例适用于存在显著的不均匀性(法兰、弯头、曲部、支架连接部等)的长距离并且在宽范围内(0.1%至1%的局部体积损耗)是线性的。灵敏度限制(在这一示例中大约为0.1%体积损耗)由运行环境对温度变动的的影响以及当前温度方法的有效性来确定。对于 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 的环境温度波动,保持了0.1%局部体积损耗的灵敏度限制。对于 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 的温度变动,该灵敏度限制扩大到了约0.5%。

[0126] 示例6示出了使用分布式的单传感器的宽带、多模、透射反射、散射技术的使用。

[0127] 示例6

[0128] 提供了在长大致50英尺的管道组件上使用大约1/2英寸乘大约1/2英寸乘大约1/8英寸的磁体进行的实验的声学大区间监控的示例。在该示例中,源换能器被布置在中间,并且信号由在换能器源相对侧上的第一接收器和第二接收器接收。图16A和图16B示出了描绘从沿管道设置的传感器中收集的示例传感器读数的示例曲线图,并且磁体被方位角地分布在该管道内。图16A示出了根据一个或多个实施方式,对于细长刚性结构内磁体的方位角分布,基于第一差分宽带响应信号的可操作输出关于磁体扰乱距离的曲线图。如所示的,示例曲线图表示磁体扰乱区域中磁体的放置的变化。图16B示出了根据一个或多个实施方式,对于细长刚性结构内磁体的方位角分布,基于第二差分宽带响应信号的可操作输出关于磁体扰乱距离的曲线图。该曲线图示出了关于近相邻区域的磁体。在图17A和图17B中,磁体在管道内轴向分布。图17A示出了根据一个或多个实施方式,对于在细长刚性结构内的磁体的轴向分布,基于第一差分宽带响应信号的可操作输出关于磁体扰乱距离的曲线图。该曲线图示出了相对于第一接收器的磁体移动。图17B示出了根据一个或多个实施方式,对于细长刚性结构内的磁体的轴向分布,基于第二差分宽带响应信号的可操作输出关于磁体扰乱距离的曲线图。该曲线图示出了相对于第二接收器的磁体。

[0129] 示例7示出了窄带、多模、透射反射、散射技术的使用。

[0130] 示例7

[0131] 下面针对在长大致50英尺的管道组件上使用大约1/2英寸乘大约1/2英寸乘大约1/8英寸的磁体进行的实验,给出了对主要缺陷的大区间声学监控的示例。源换能器被布置在中间,并且信号由在换能器源相对侧上的第一接收器和第二接收器接收。可以使用单调高斯包络脉冲。到达第一接收器的信号和到达第二接收器的信号之间的延迟差可以估计该主要缺陷的位置。图18A和图18B示出了在管道中0英尺处的8个方位角布置的磁体的信号迹线图。图18A示出了根据一个或多个实施方式的针对在给定的距离处的磁体的方位角分布的第一差分窄带响应信号的迹线。该信号迹线示出了从第一接收器接收的信号。图18B示出了根据一个或多个实施方式的针对在给定的距离处的磁体的方位角分布的第二差分窄带响应信号的迹线。该信号迹线示出了从第二接收器接收的信号。比较图18A和18B的两个信号可以帮助改善对管道中主要缺陷的位置的估计。

[0132] 图19A和图19B示出了在管道中8英尺处的8个方位角布置的磁体的信号迹线。图19A示出了根据一个或多个实施方式的针对在给定的距离处的磁体的方位角分布的第一差

分窄带响应信号的迹线。该信号迹线示出了从第一接收器接收的信号。图19B示出了根据一个或多个实施方式的针对在给定的距离处的磁体的方位角分布的第二差分窄带响应信号的迹线。该信号迹线示出了从第二接收器接收的信号。比较图19A和图19B的两个信号可以帮助改善对管道中主要缺陷的位置的估计。

[0133] 图20A和图20B示出了在管道中16英尺处的8个方位角布置的磁体的信号迹线。图20A示出了根据一个或多个实施方式的针对在给定的距离处的磁体的方位角分布的第一差分窄带响应信号的迹线。该信号迹线示出了从第一接收器接收的信号。图20B示出了根据一个或多个实施方式的针对在给定的距离处的磁体的方位角分布的第二差分窄带响应信号的迹线。该信号迹线示出了从第二接收器接收的信号。比较图20A和图20B的两个信号可以帮助改善对管道中主要缺陷的位置的估计。

[0134] 图21A示出了根据一个或多个实施方式的比较缺陷的估计距离和实际距离的差分窄带响应信号的时域分析。该时域分析帮助说明位置估计随扰乱大小而改善。对于25英尺的区域而言,在8个磁体扰乱的情况下,对于方位角情况精度在2英尺以内,并且对于轴向情况精度在1英尺以内。

[0135] 图21B示出了根据一个或多个实施方式的比较归一化的信号强度和缺陷的实际距离的差分窄带响应信号的信号强度分析。该信号强度分析可以帮助从较小的距离(例如,2英尺至4英尺)估计距离。

[0136] 图21C示出了根据一种或多种实施方式的比较一个或两个缺陷的估计距离和实际距离的差分窄带响应信号的曲线图。该曲线图说明无论磁体小(例如,大约1/2英寸乘大约1/2英寸乘大约1/8英寸)或是大(例如,大约1英寸乘大约1英寸乘大约1/8英寸),对方位角分布的磁体和轴向分布的磁体两者使用窄带信号的有效性。这可以被用来寻找来自区域内多个主要扰乱的反射,提供主要位置估计和二次位置估计。在25英尺的区域中,精度在1.5英尺以内。

[0137] 图15A示出了根据一个或多个实施方式的用于检测和监控细长刚性结构中的机械变化的方法。下面呈现的方法1500的操作旨在是说明性的。在一些实施方式中,可以利用未描述的一个或多个附加操作和/或在缺少所讨论的一个或多个操作的情况下来完成方法1500。另外,在图15中示出并在下面描述的方法1500的操作的顺序并非旨在限制。

[0138] 在一些实施方式中,可以在一个或多个处理设备(例如,数字处理器、模拟处理器、物理计算机处理器、设计为处理信息的数字电路、设计为处理信息的模拟电路、状态机和/或用于电子地处理信息的其他机构)中实施方法1500。一个或多个处理设备可以包括一个或多个响应于电子地存储在电子存储介质上的指令而执行方法1500的一些或全部操作的设备。一个或多个处理设备可以包括通过硬件、固件和/或软件配置为要被专门设计用于执行方法1500的一个或多个操作的一个或多个设备。

[0139] 操作1502可以包括沿着刚性结构的表面在第一位置处放置第一声学换能器。声学换能器可以能够生成并获得声学信号。换能器可以将能量从一种形式转化为另一种形式,例如将声学能量转变为电信号,反之亦然。刚性结构可以是管道、桥梁、铁路、建筑、飞机、车辆和/或其他结构。

[0140] 操作1504可以包括沿着刚性结构的表面在第二位置处放置第二声学换能器。该第二位置可以不同于第一位置。

[0141] 操作1506可以包括沿着刚性结构的表面在第三位置处放置第三声学换能器。第二位置可以在第一位置和第三位置之间。第三位置可以不同于第一位置和/或第二位置。第一位置和第二位置之间的纵向间隔可以限定第一区域。第二位置和第三位置之间的纵向间隔可以限定第二区域。

[0142] 操作1508可以包括使用第二声学换能器来沿着刚性细长结构生成基线宽带声学信号。基线宽带可以被用于与随后的信号进行比较,以查看信号的任何变化。信号的变化可能暗示该刚性细长结构中的缺陷。

[0143] 操作1510可以包括使用第一声学换能器来获得响应于第一区域中的基线宽带声学信号的第一基线传输信号,以及使用第三声学换能器来获得响应于第二区域中的基线宽带声学信号的第二基线传输信号。基线传输可以不同于由第二声学换能器生成的基线宽带声学信号。差异可能是由于刚性结构中由第二声学换能器生成的宽带声学信号的反射引起的噪声和/或其他噪声导致的。可以发送并平均或以其他方式分析多个基线传输信号,以降低多余的噪声。

[0144] 操作1512可以包括使用第二声学换能器来沿着刚性细长结构生成监控宽带声学信号。监控宽带声学信号可以是在基线宽带声学信号后发送的信号。

[0145] 操作1514可以包括使用第一声学换能器来获得响应于第一区域中的监控宽带声学信号的第一监控传输信号,以及使用第三声学换能器来获得响应于第二区域中的监控传输信号的第二监控传输信号。监控传输信号可以是在基线传输信号之后的信号。

[0146] 操作1516可以包括确定作为第一监控传输信号和第一基线传输信号之间的差的第一差分传输信号。差可以指示第一区域中的刚性结构的缺陷。缺陷可以包括刚性结构的结构的机械缺陷、刚性结构中的异物伪像和/或其他缺陷。

[0147] 操作1518可以包括确定作为第二监控传输信号和第二基线传输信号之间的差的第二差分传输信号。差可以指示在第二区域中的刚性结构的缺陷。

[0148] 操作1520可以包括基于第一差分传输信号来确定在细长刚性结构的第一区域中是否发生了机械变化,或者基于第二差分传输信号来确定在细长刚性结构的第二区域中是否发生了机械变化。

[0149] 图15B示出了根据一个或多个实施方式的用于检测和监控细长刚性结构的区域中的机械变化的方法。操作1552可以包括使用第二声学换能器来沿着细长刚性结构生成基线窄带脉冲声学信号。基线窄带脉冲声学信号可以被用于与随后的信号进行比较,以查看信号的任何变化。窄带脉冲声学信号可能比宽带声学信号更能够检测到刚性结构的微妙变化。

[0150] 操作1554可以包括使用第一声学换能器来获得响应于第一区域和第二区域中的基线窄带脉冲声学信号的第一基线响应信号,以及使用第三声学换能器来获得响应于第二区域和第一区域中的基线窄带脉冲声学信号的第二基线响应信号。基线响应信号可以不同于由第二声学换能器生成的窄带脉冲声学信号。差异可能是由于刚性结构中由第二声学换能器生成的窄带脉冲声学信号的反射引起的噪声和/或其他噪声导致的。可以发送并平均或以其他方式分析多个基线响应信号,以降低不想要的噪声。

[0151] 操作1556可包括使用第二声学换能器来沿着细长刚性结构生成监控窄带脉冲声学信号。监控窄带脉冲声学信号可以是基线窄带脉冲声学信号之后的信号。

[0152] 操作1558可以包括使用第一声学换能器来获得响应于第一区域和第二区域中的基线窄带脉冲声学信号的第一监控响应信号,以及使用第三声学换能器来获得响应于第二区域和第一区域中的基线窄带脉冲声学信号的第二监控响应信号。监控响应信号可以是基线响应信号之后的信号。可以在另一个信号不久之后或相对同时地发送多个监控响应信号。

[0153] 操作1560可以包括确定作为第一监控响应信号和第一基线响应信号之间的差的第一差分响应信号。差异可以指示第一区域中的刚性结构的缺陷。缺陷可以包括刚性结构的结构的机械缺陷、刚性结构中的异物伪像和/或其他缺陷。

[0154] 操作1562可以包括确定作为第二监控响应信号和第二基线响应信号之间的差的第二差分响应信号。差异可以指示第二区域中的刚性结构的缺陷。

[0155] 操作1564可以包括与第二差分响应信号相比,根据第一差分响应信号来生成第一差分延迟分布曲线。第一差分延迟分布曲线可以指示第一监控响应信号和第一基线响应信号之间的差别。第一差分延迟分布曲线可以帮助指示第一区域内缺陷所在的更具体的点。

[0156] 操作1566可以包括与第一差分响应信号相比,根据第二差分响应信号来生成第二差分延迟分布曲线。第二差分延迟分布曲线可以指示第二监控响应信号和第二基线响应信号之间更细微的差别。第二差分延迟分布曲线可以帮助指示第二区域内缺陷所在的更具体的点。

[0157] 操作1568可以包括基于第一差分延迟分布曲线和第二差分延迟分布曲线来确定在第一区域或第二区域内的机械变化的相对位置。

[0158] 本方法的实施例可以被用于监控诸如容器、管道、飞机、铁路、桥梁和建筑的各种工程结构。

[0159] 尽管上面已经描述了所公开的技术的各种实施例,但是应当理解的是,它们仅以示例而非限制的方式呈现。同样地,各种附图可以描绘用于所公开的技术的架构示例或其他配置,这是为了辅助对可以在所公开的技术中包括的特征和功能理解。所公开的技术不局限于所示出的示例架构或配置,而可以使用各种替代架构和配置来实施期望的特征。实际上,对于本领域的技术人员将显而易见的是,可以如何实施替代功能、逻辑或物理的划分和配置,以实施本文中所公开的技术的期望的特征。此外,除了那些在本文中描绘的组成部件名称之外,许多不同的组成部件名称可以被应用到各种划分。

[0160] 另外,关于流程图、操作说明和方法权利要求,除非上下文另有规定,否则本文中呈现步骤的顺序不应强制要求实施的各种实施例以相同的顺序执行列举的功能。

[0161] 尽管所公开的技术在上文是根据各种示例性实施例和实施方式而描述的,但是应当理解的是,在一个或多个独立实施例中描述的各种特征、方面和功能不限于其对描述它们的特定实施例的适用性,而是可以单独地或以各种组合被应用到所公开的技术的其它实施例的一个或多个实施例,不管是否描述了这些实施例,也不管这些特征是否作为描述的实施例的部分呈现。因此,本文中所公开的技术的广度和范围不应受到任何上述示例性实施例的限制。

[0162] 除非另有明确说明,否则本文件中使用的术语和短语及其变体应被解释为开放式的,而不是限制性的。作为前述内容的示例:术语“包括”应解读为“包括但不限于”等含义;术语“示例”用于提供所讨论的项目的示例性实例,而不是其详尽或限制性的清单;术语“一

个”应解读为“至少一个”、“一个或多个”等含义；诸如“常规”、“传统”、“正常”、“标准”、“已知”和类似含义的术语的形容词不应解释为将描述的项目限制到给定时间段或给定的时间可用的项，而是应该解读为涵盖现在或在将来的任何时候可用或已知的常规、传统、正常或标准技术。同样地，在本文件涉及对本领域普通技术人员而言显而易见或已知的技术的情况下，这种技术涵盖现在或在将来任何时候对于本领域技术人员而言显而易见或已知的那些技术。

[0163] 在一些实例中，诸如“一个或多个”、“至少”、“但不限于”或其他类似短语的扩展词和短语的存在不应被解读为在不存在这种扩展短语的实例中所意指或要求的是较窄的情况。术语“部件”的使用并不意味着作为部件的部分描述或要求保护的部件或功能全部要配置在一个共同封装中。实际上，一个部件的任何或所有不同部件，无论是控制逻辑还是其他部件，都可以组合在单个封装中或者可以单独地保持并可以进一步分布在多个组或封装中或跨多个位置分布。

[0164] 另外，根据示例性框图、流程图和其他附图描述了本文中阐述的各种实施例。在阅读本文件之后，对于本领域的普通技术人员将变得显而易见的是，可以在不受限于所示示例的情况下实施所示实施例及其各种替代实施例。例如，框图及其随附的描述不应被解释为强制要求特定的架构或配置。

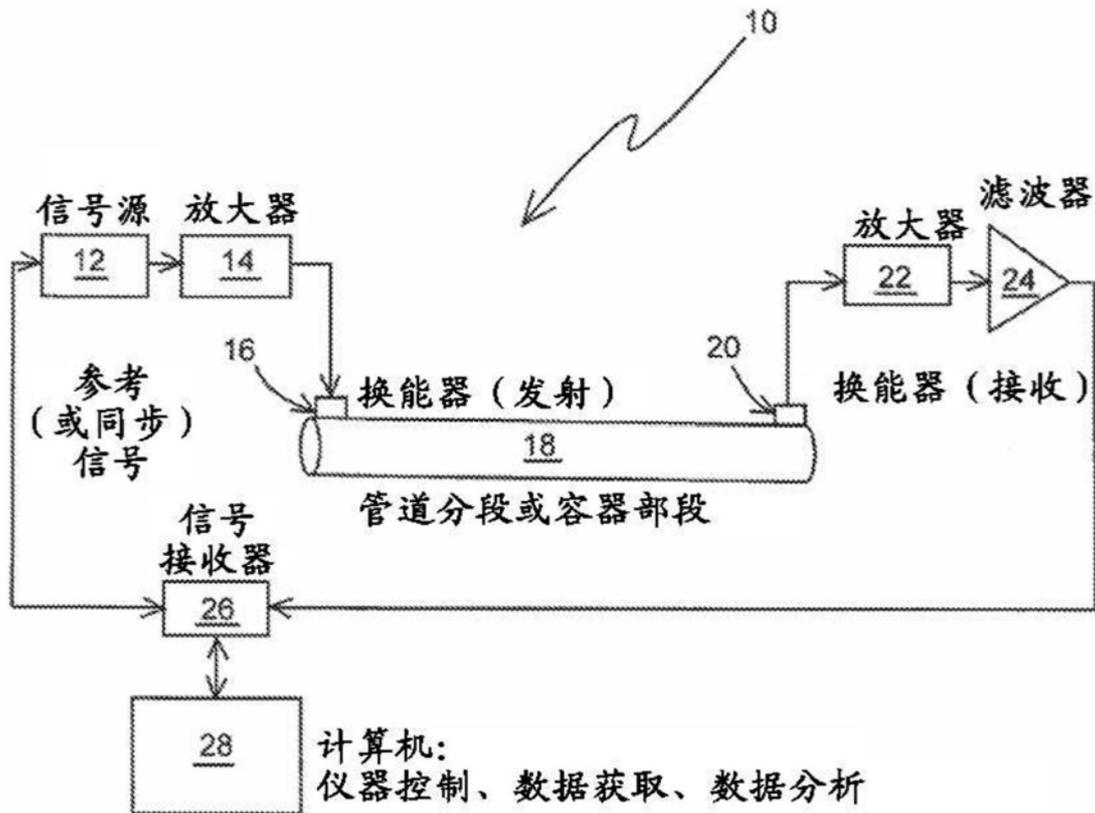


图1A

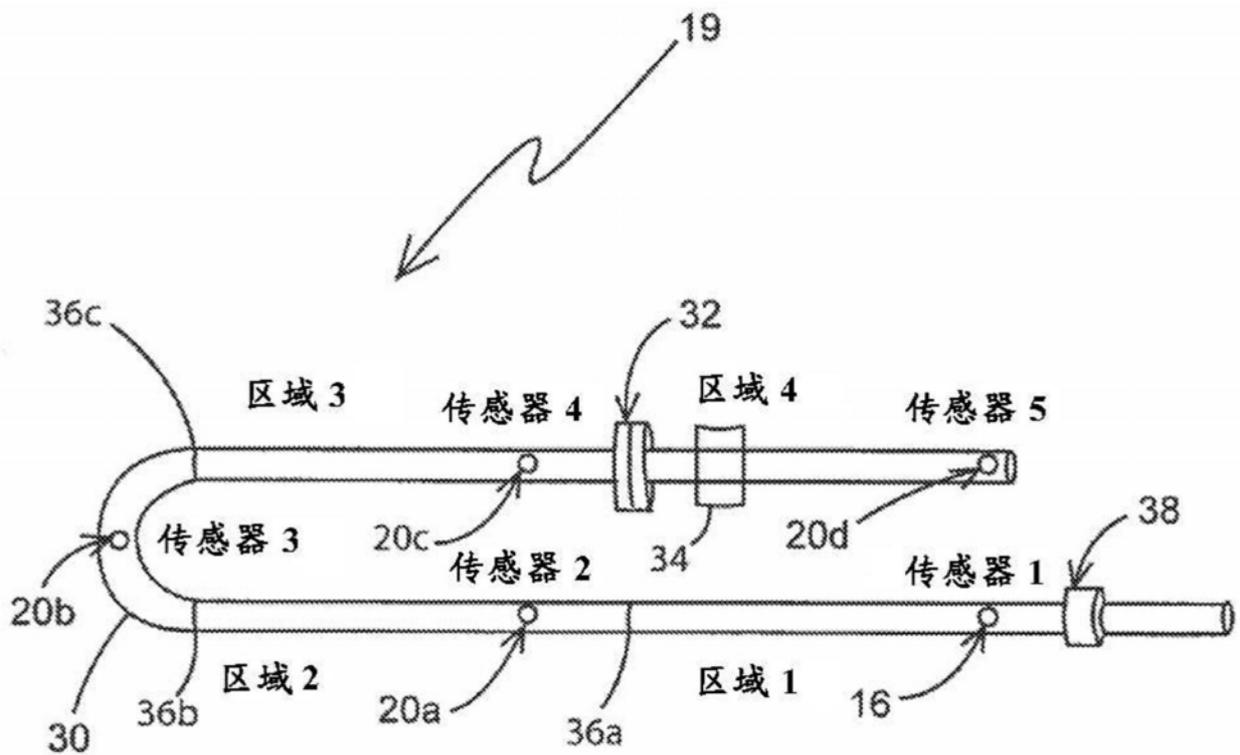


图1B

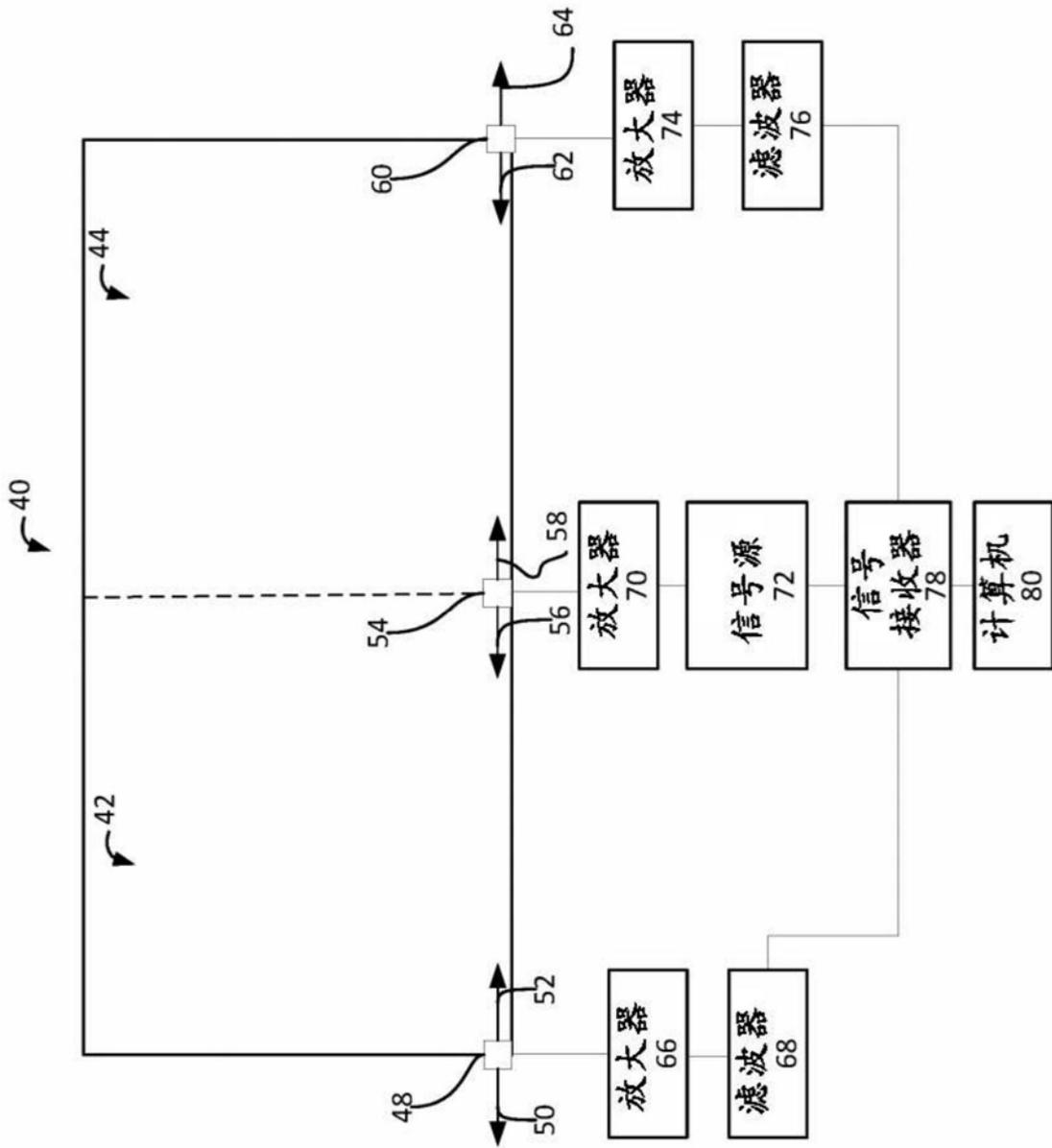


图1C

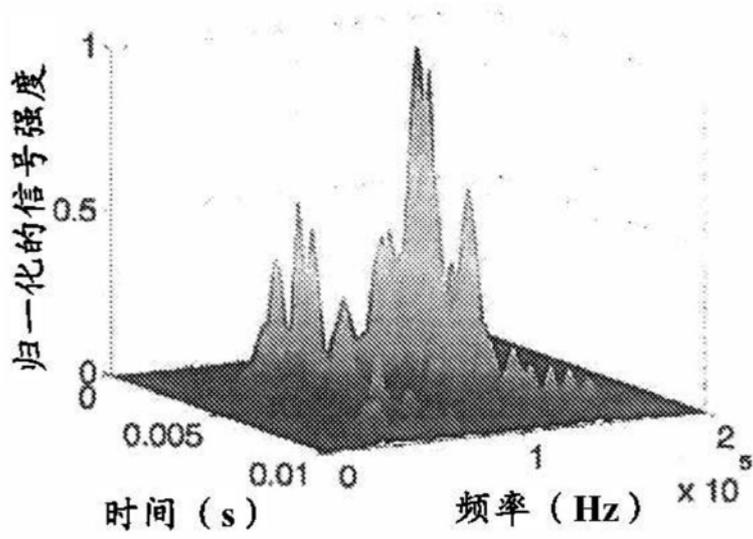


图2

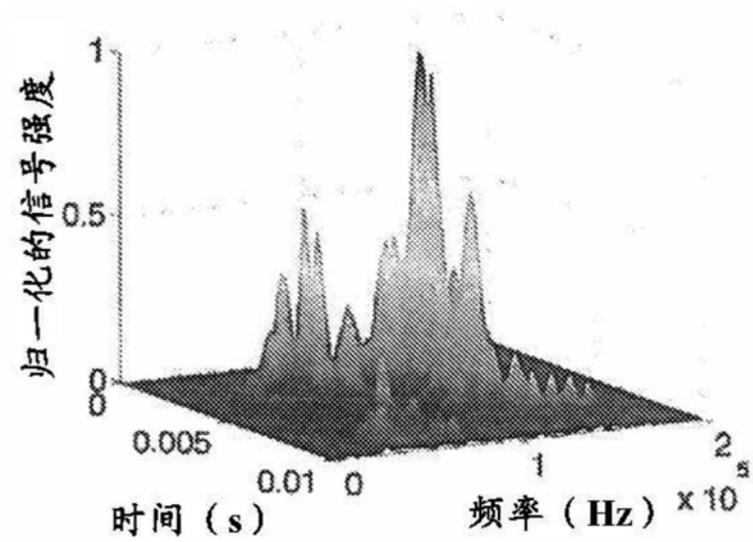


图3

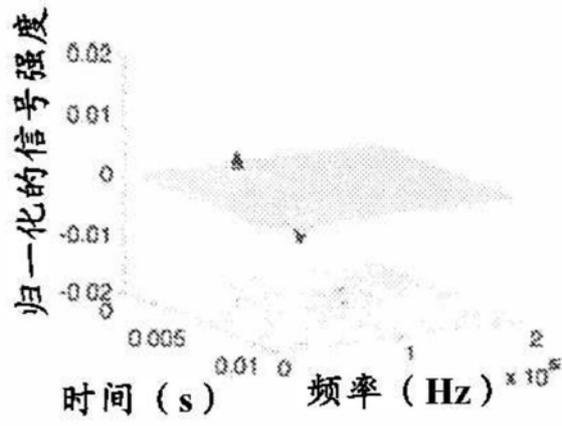


图4A

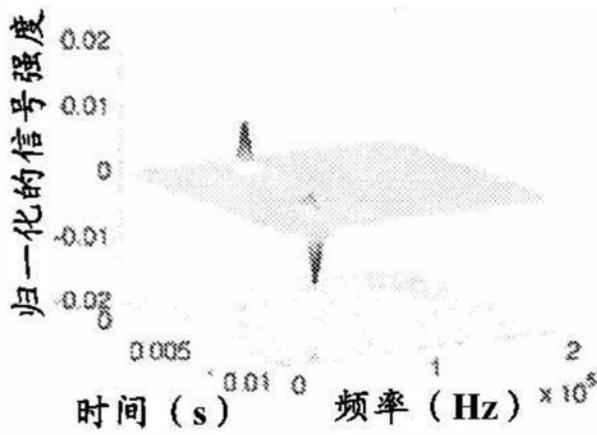


图4B

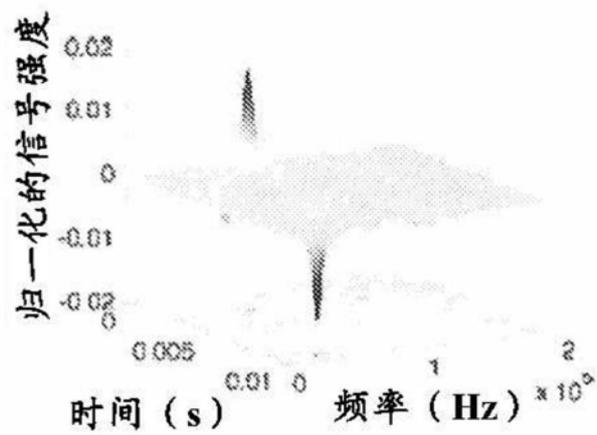


图4C

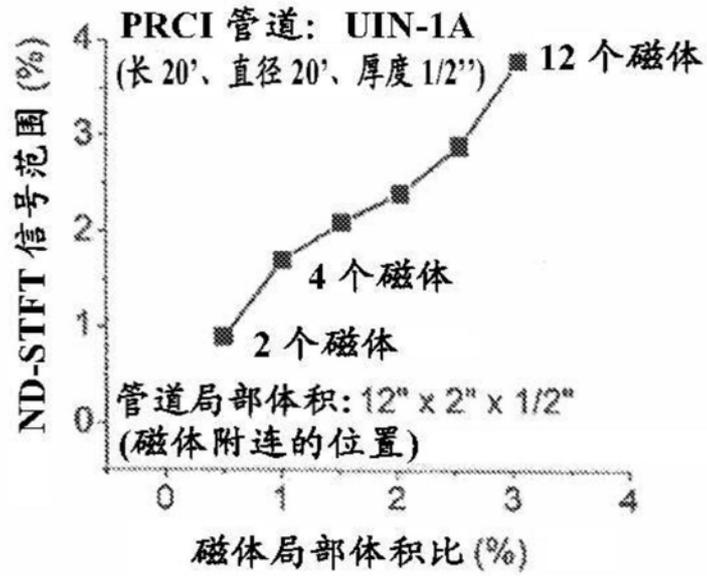


图5

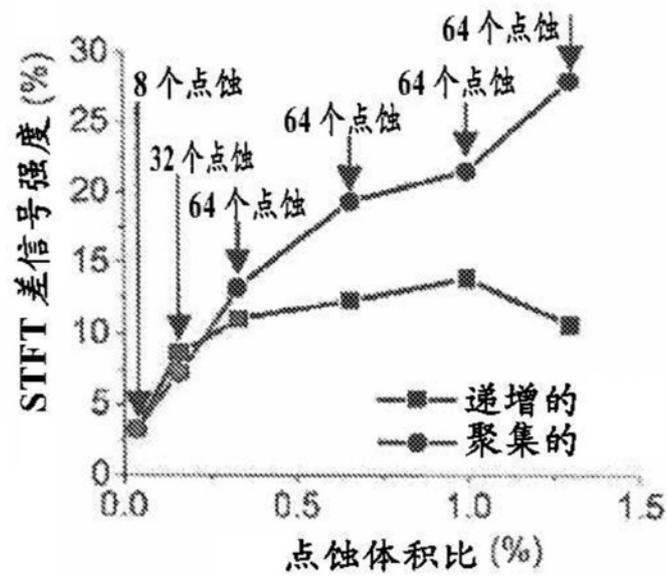


图6

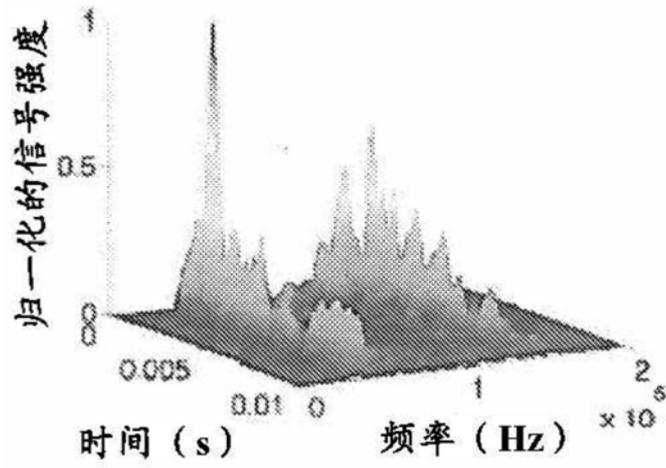


图7

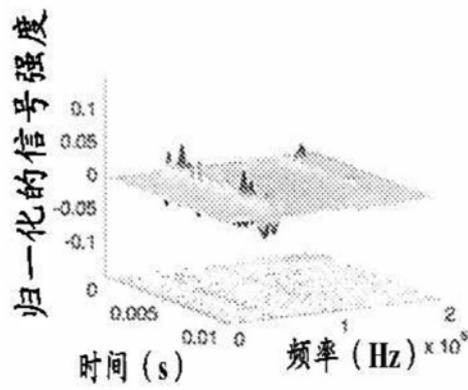


图8A

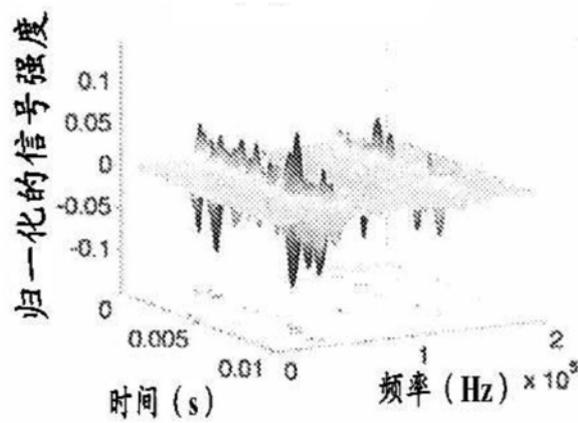


图8B

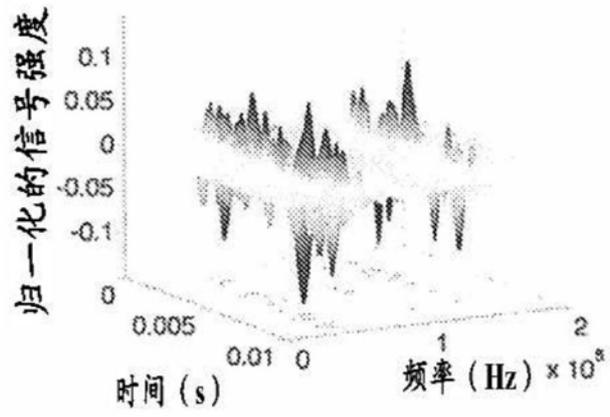


图8C

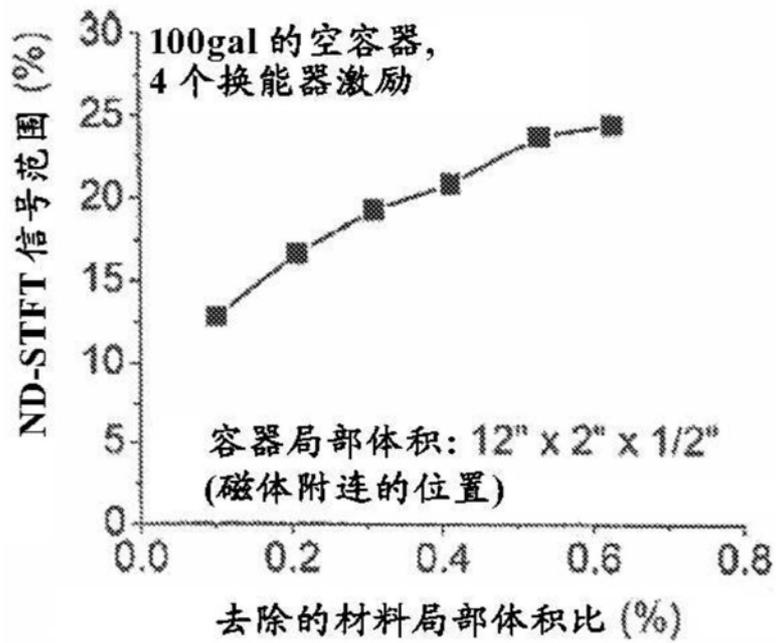


图9

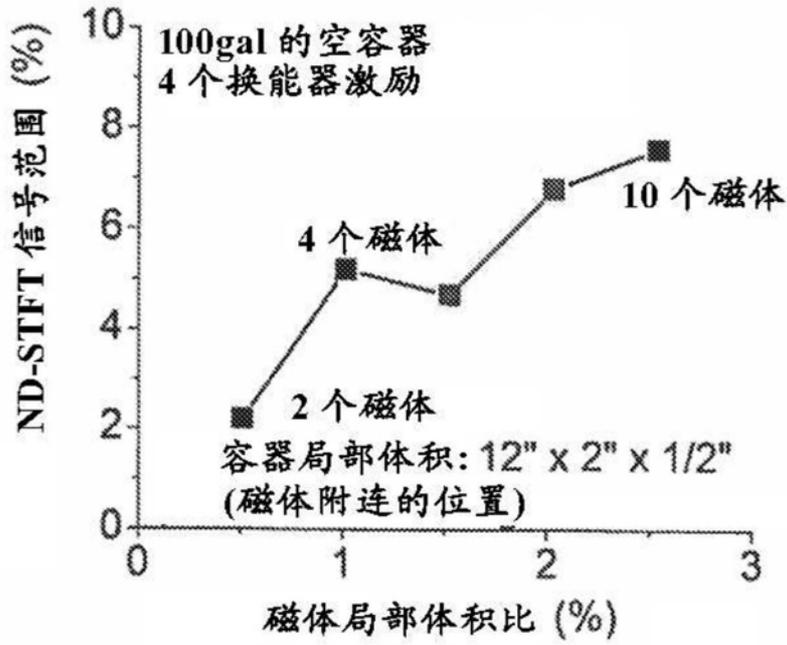


图10

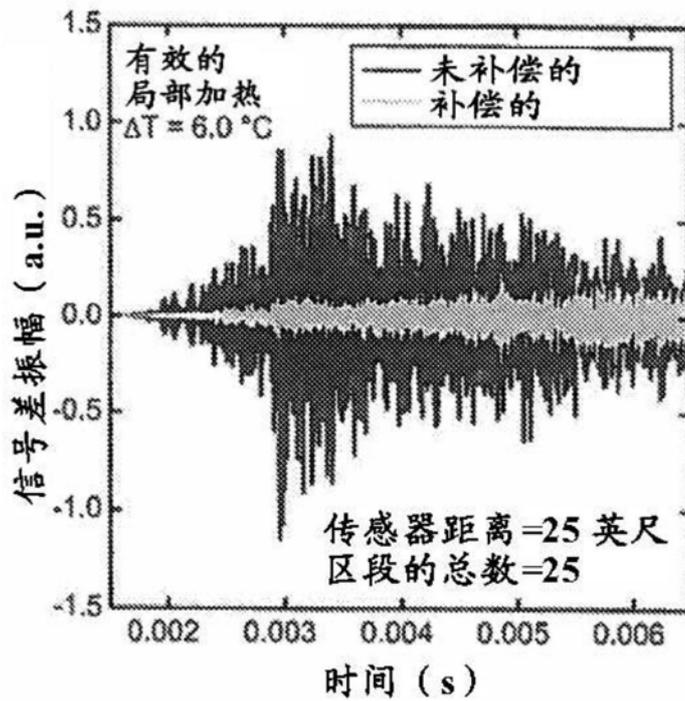


图11A

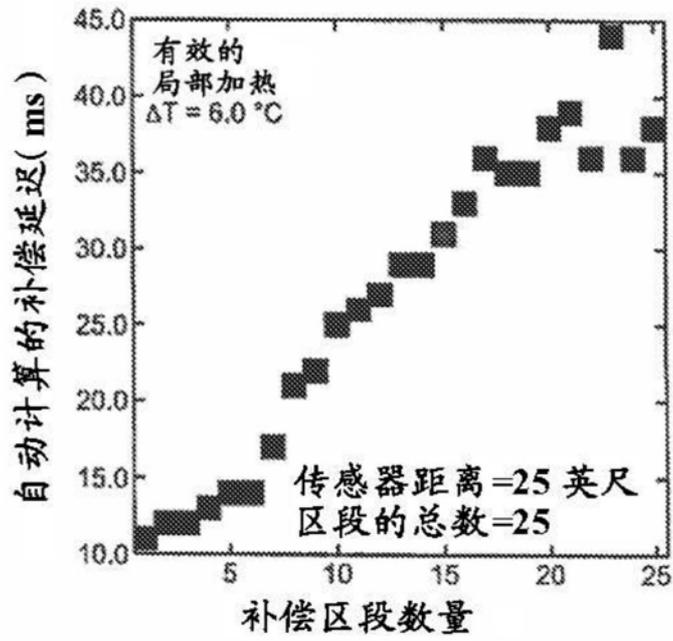


图11B

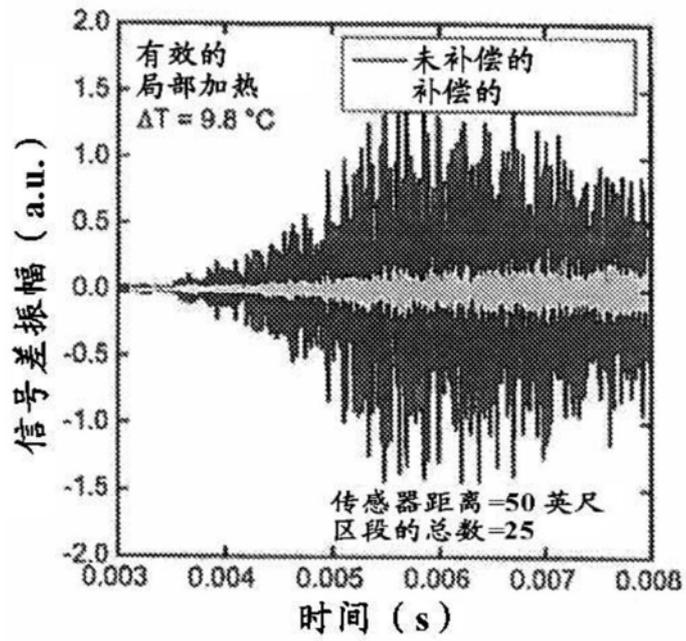


图12A

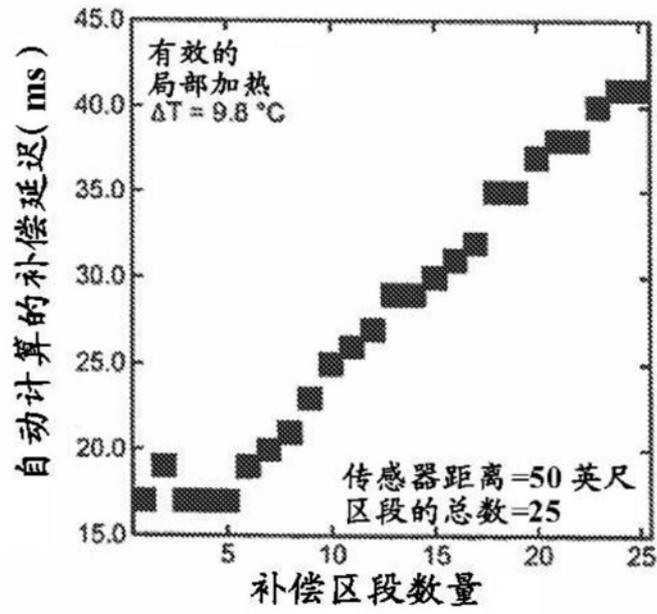


图12B

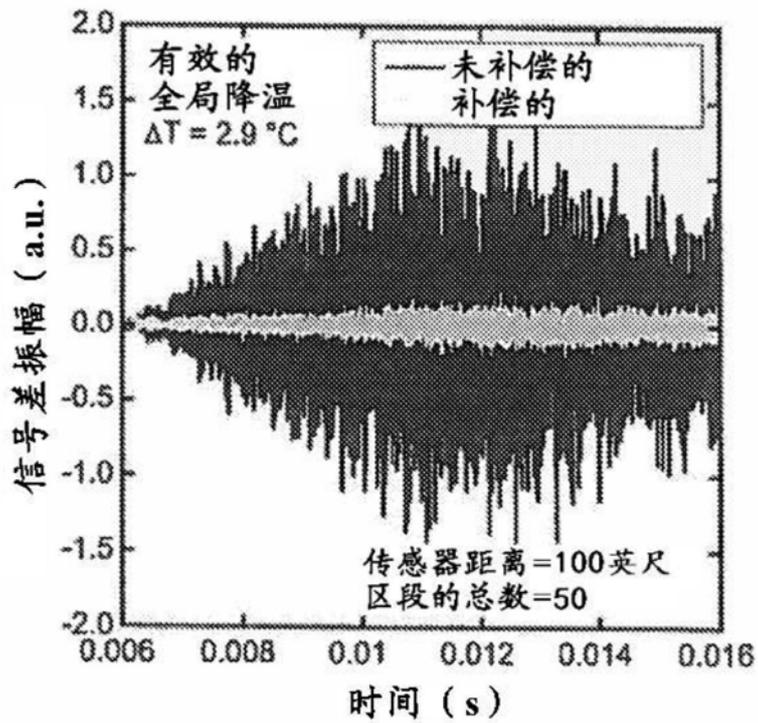


图13A

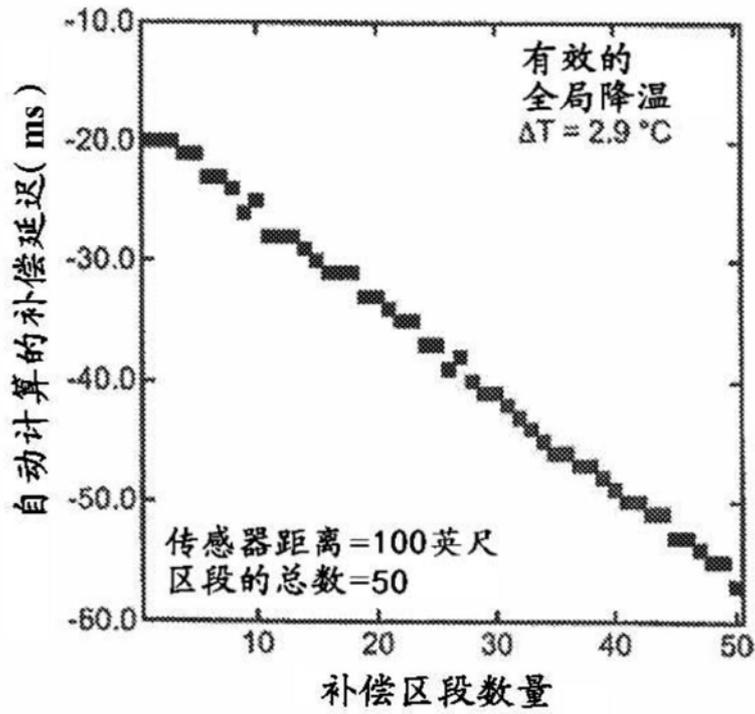


图13B

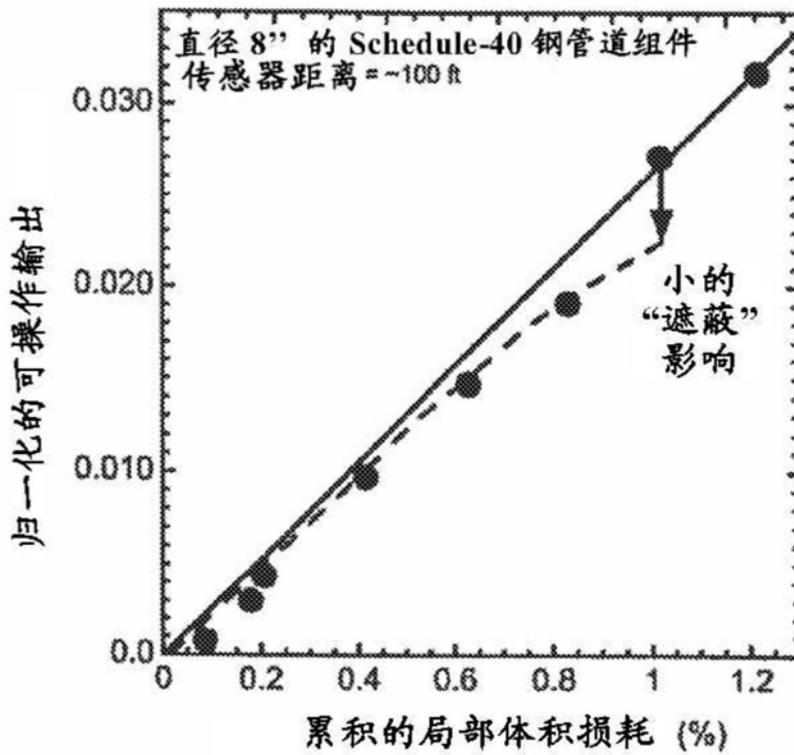


图14

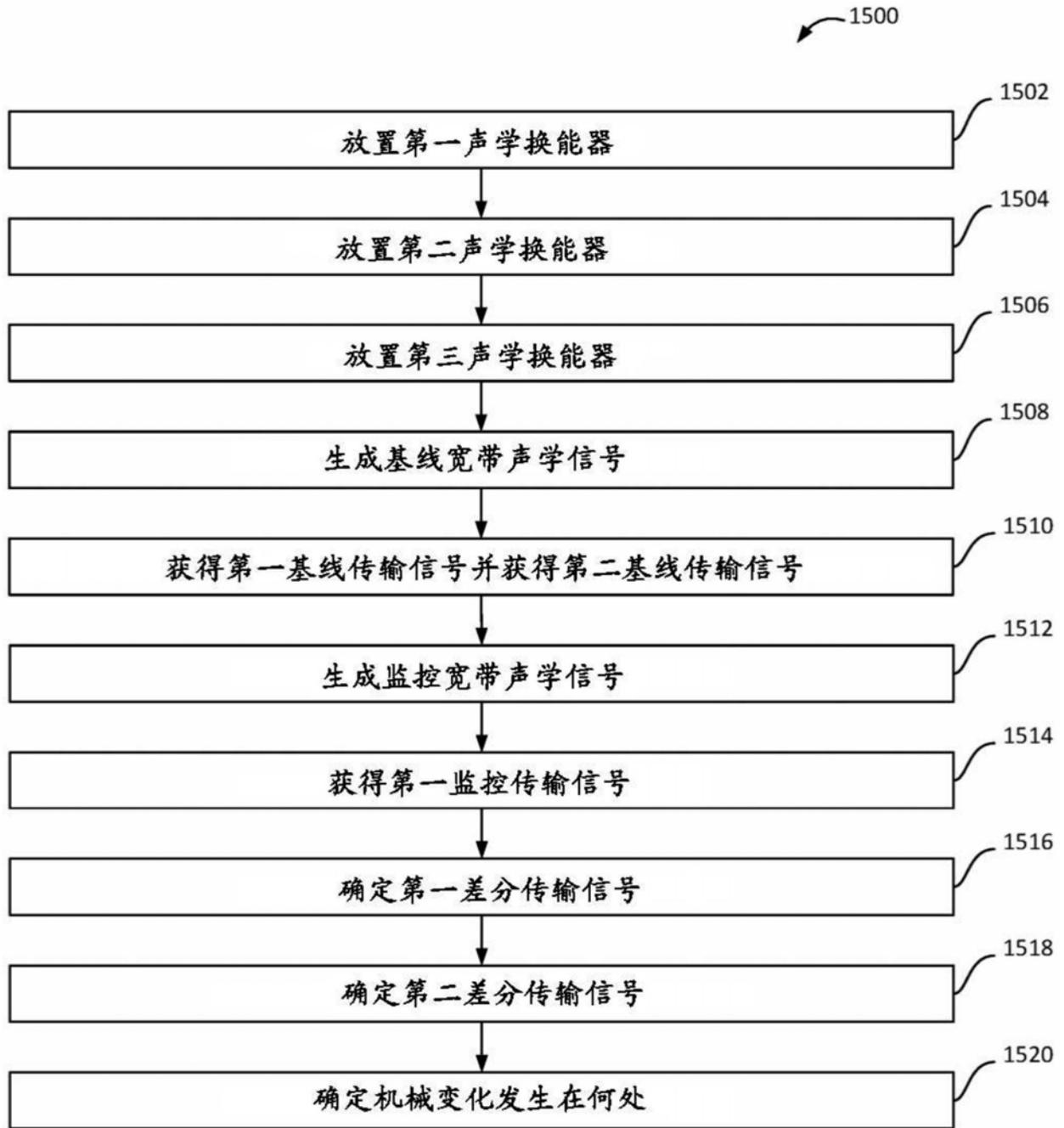


图15A

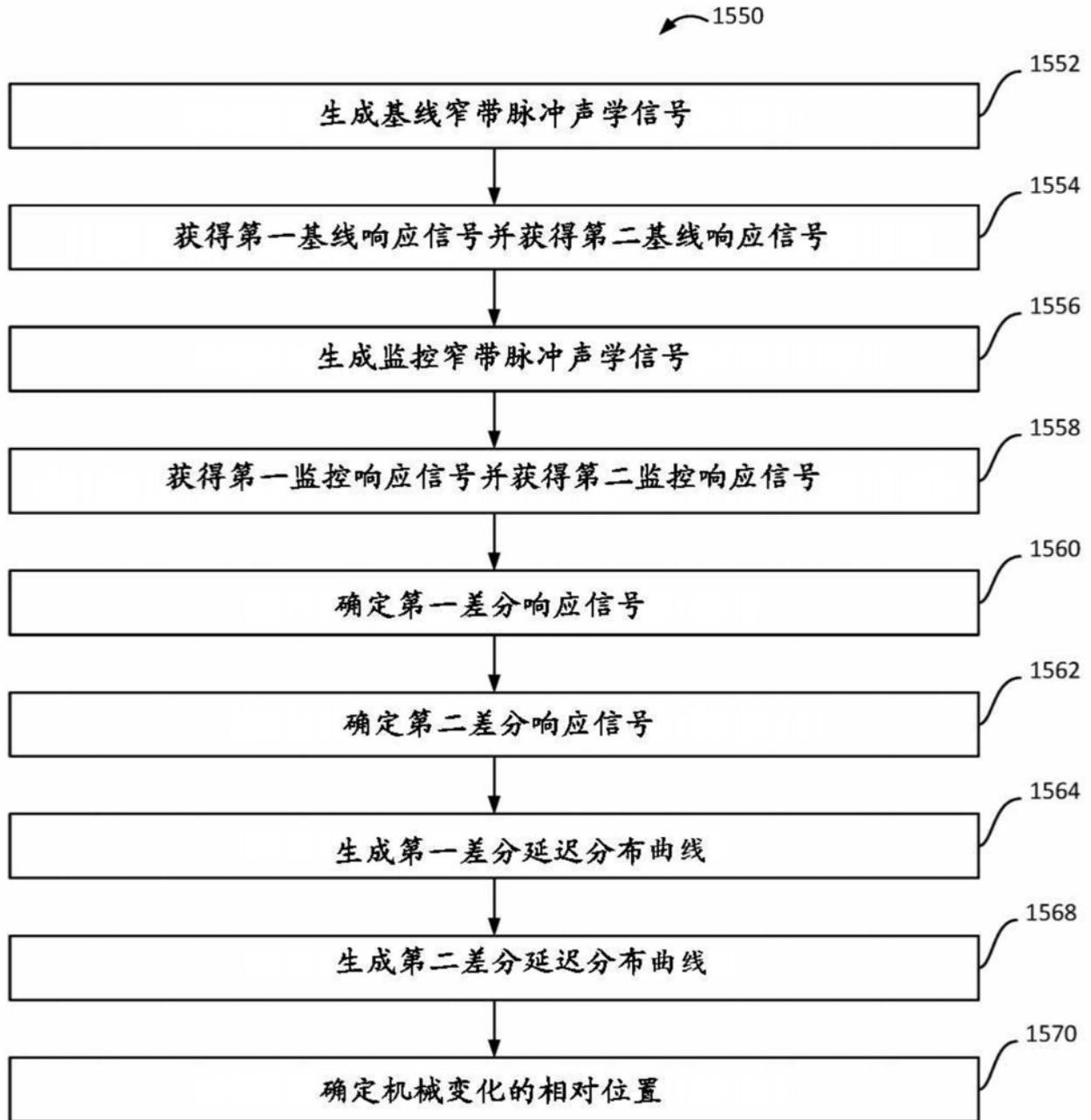


图15B

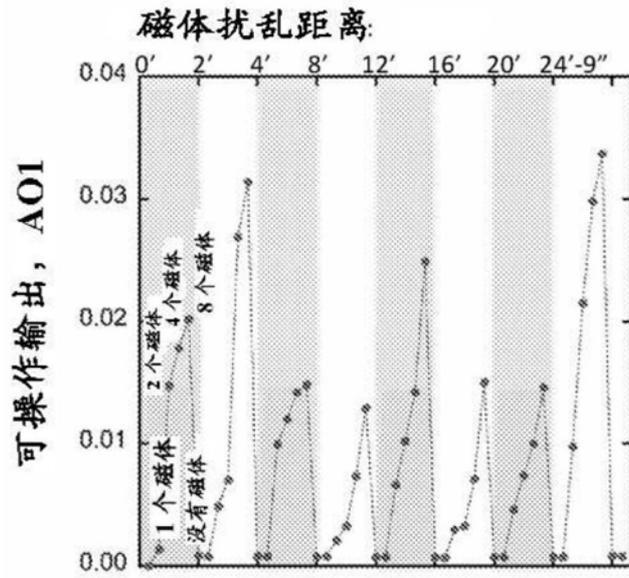


图16A

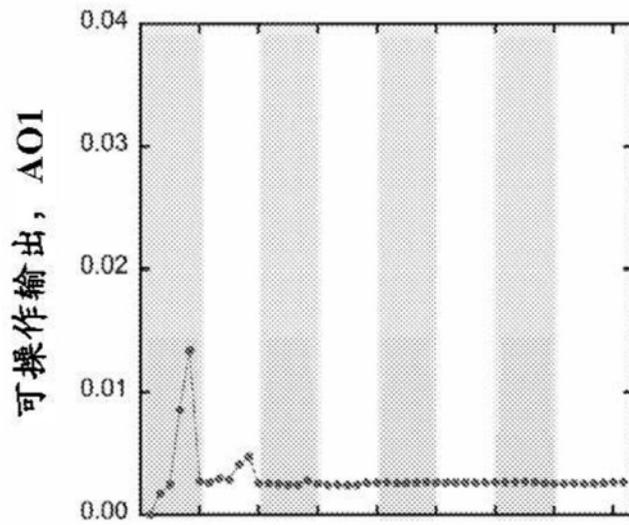


图16B

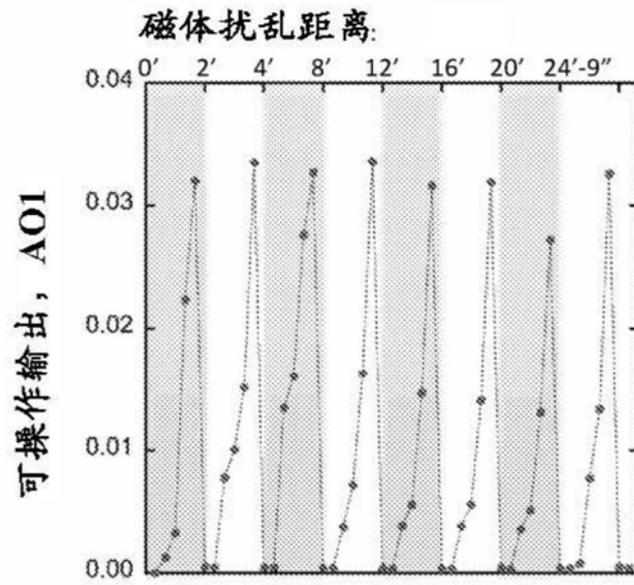


图17A

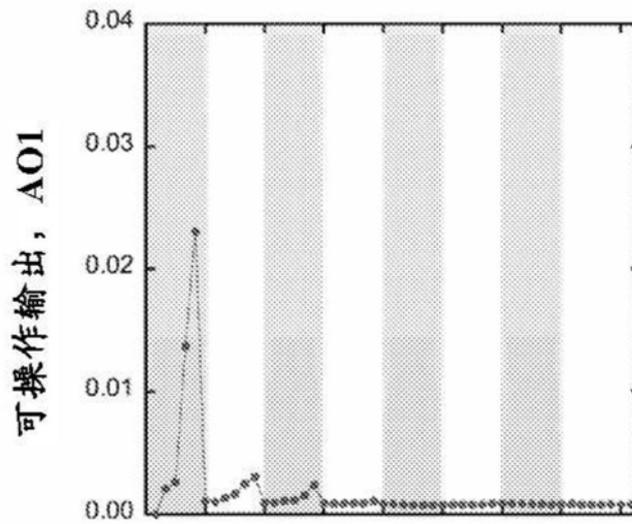


图17B



图18A

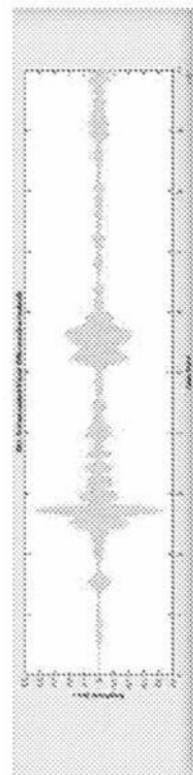


图18B

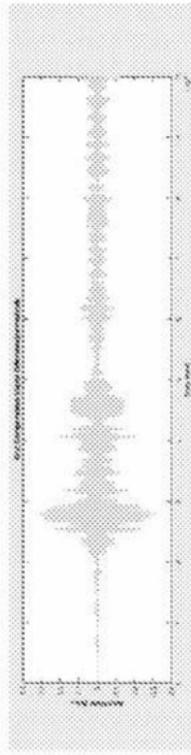


图19A

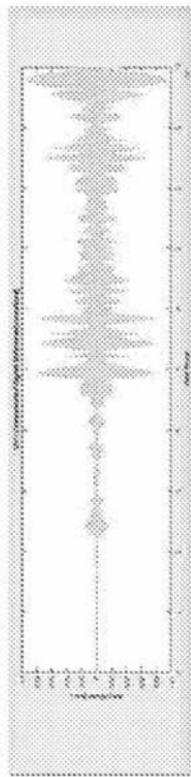


图19B

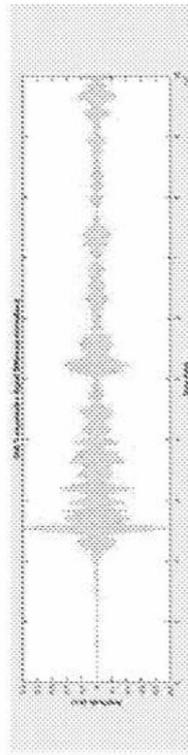


图20A



图20B

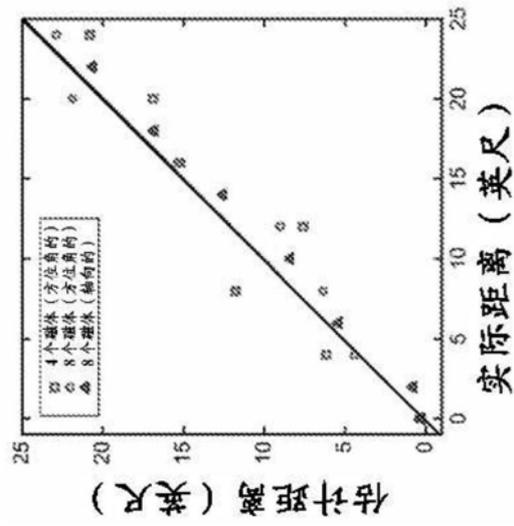


图21A

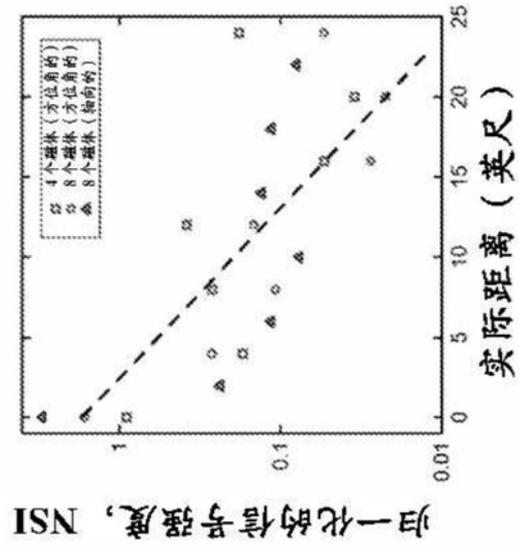


图21B

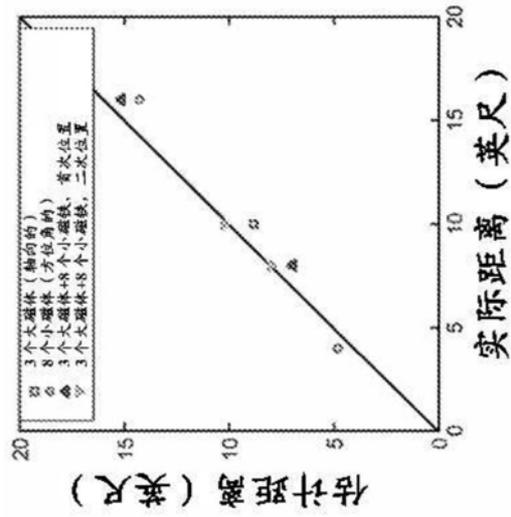


图21C