



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105510444 B

(45)授权公告日 2018.04.13

(21)申请号 201510852380.6

(22)申请日 2015.11.27

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105510444 A

(43)申请公布日 2016.04.20

(73)专利权人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路
华南理工大学

(72)发明人 洪晓斌 周建熹

(74)专利代理机构 北京天奇智新知识产权代理
有限公司 11340

代理人 陈新胜

(51)Int.Cl.

G01N 29/06(2006.01)

(56)对比文件

CN 103105434 A, 2013.05.15, 全文.

CN 104034801 A, 2014.09.10, 全文.

CN 104049036 A, 2014.09.17, 全文.

JP 特开2014-62758 A, 2014.04.10, 全文.

CN 101982943 A, 2011.03.02, 全文.

Zenghua Liu et al.. A new multichannel
time reversal focusing method for
circumferential Lamb waves and its
applications for defect detection in
thick-walled pipe with large-diameter.

《Ultrasonics》. 2014, 第54卷第1967-1976页.

许凯亮等. 长骨中超声导波的频散反演方法
研究.《声学技术》. 2013, 第32卷(第6期), 第34-
37页.

审查员 张娟

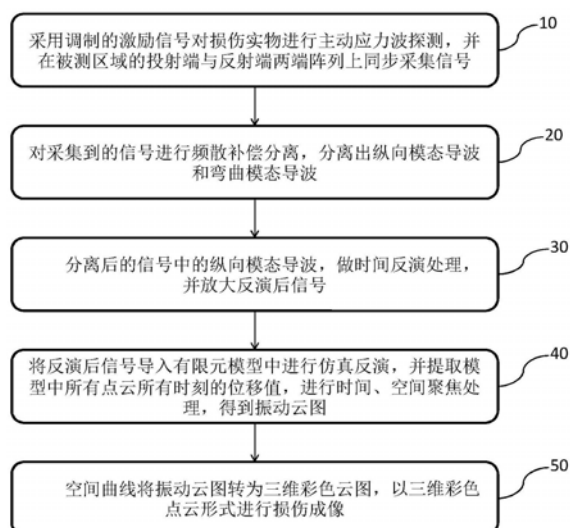
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

基于超声导波的双向时间反演损伤成像方
法

(57)摘要

本发明公开了一种基于超声导波的双向时间反演损伤成像方法,包括:采用调制的激励信号对损伤实物进行主动应力波探测,在被测区域的投射端与反射端两端阵列上同步采集信号;对采集到的信号进行频散补偿分离,分离出纵向模式导波和弯曲模式导波;提取分离后的信号中的纵向模式导波,做时间反演处理,放大反演后信号;将反演后信号导入有限元模型中进行仿真反演,提取模型中所有点云所有时刻的位移值,进行时间、空间聚焦处理,得到振动云图;定义空间曲线将振动云图转为三维彩色云图,以三维彩色点云形式进行损伤成像。该方法从整体上分析损伤的特征,创新性地提取不同模式导波进行透射、反射两端同时做时间反演分析,具有重要的学术价值和实际意义。



1. 基于超声导波的双向时间反演损伤成像方法,其特征在于,所述方法包括:

A采用调制的激励信号对损伤实物进行主动应力波探测,并在被测区域的投射端与反射端两端阵列上同步采集信号;所述损伤实物的形状为细长状实心结构;

B对采集到的信号进行频散补偿分离,分离出纵向模态导波和弯曲模态导波;

C提取分离后的信号中的纵向模态导波,做时间反演处理,并放大反演后信号;

D将反演后信号导入有限元模型中进行仿真反演,并提取模型中所有点云所有时刻的位移值,进行时间、空间聚焦处理,得到振动云图;

E定义空间曲线将振动云图转为三维彩色云图,以三维彩色点云形式进行损伤成像。

2. 如权利要求1所述的基于超声导波的双向时间反演损伤成像方法,其特征在于,所述步骤A具体包括:采用主动超声导波探测技术进行初始激励时,加载到阵列上的初始激励信号选用调制窄带信号,中心频率选择被测物理论频散曲线中较低频处的平缓位置,并在被检测区域两端布置接收阵列以同步采集反射端、透射端阵列上的信号。

3. 如权利要求1所述的基于超声导波的双向时间反演损伤成像方法,其特征在于,所述步骤B具体包括:对于采集信号,采用频散补偿的方法进行补偿、剔除、反补偿,逐一分离出纵向模态导波、弯曲模态导波。

4. 如权利要求1所述的基于超声导波的双向时间反演损伤成像方法,其特征在于,所述步骤C具体包括:选取反射端、透射端分离后的信号中的纵向模态,进行滤波后做时间反演处理,建立与损伤实物对应的无损伤有限元仿真模型,将反演信号导入有限元模型中对应损伤实物的接收位置,再次激励仿真反演。

5. 如权利要求1所述的基于超声导波的双向时间反演损伤成像方法,其特征在于,所述步骤D中,提取模型所有点云所有时刻的位移值作为表面振动特征量,进行时间、空间聚焦处理,得到振动云图。

6. 如权利要求1所述的基于超声导波的双向时间反演损伤成像方法,其特征在于,所述步骤E具体包括:定义空间曲线,将二维振动值映射到RGB三维空间坐标中,对损伤区域有明显色阶过渡,将振动云图转为三维色阶云图,以三维彩色点云的形式进行损伤成像。

基于超声导波的双向时间反演损伤成像方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无损检测技术领域,尤其涉及一种基于超声导波的细长状结构的双向时间反演损伤成像方法。

背景技术

[0002] 在交通运输、建筑桥梁、输电线缆等各领域,往往使用如绞线、管道、钢丝绳等各类复杂长状类结构,这些复杂结构在工作中会长期受到外部环境的影响而在产生各种损伤,如磨损、锈蚀、断股等,这些损伤造成极大的隐患,威胁到人员及设备财产的安全。因此对这类复杂长状结构的检测意义重大,也出现许多检测方法。

[0003] 目前按是否采用应力波进行损伤检测,分为非应力波损伤检测方法和应力波损伤检测方法两大类。非应力波检测方法主要有光学法、电流法、电磁法、X射线法和电涡流法等,能够很好对被测物裸露部分进行缺陷检测,然而此类方法往往需采用与被测物间相对运动方式来实现,细长状结构的结点结构覆盖区域成为检测盲区,应用受到很大限制。应力波检测方法主要有声发射法、超声波反射法、穿透式导波法。声发射法可采用感应器测量承力索绞线结构变化时产生弹性波从而可分析损伤情况,但属于被动检测方式,受限于只有在结构产生损伤时才能起到作用,是瞬间响应,然而为后期超声波反射法、穿透式导波法研究奠定了基础。超声波反射法采用换能器在材料表面激发询问脉冲应力波,该应力波在内部与材料的微结构相互作用后到达同边接收换能器,然后对接收到的波形信号进行分析,提取出其中能反映结构损伤因子。该法不但能对承力索绞线进行损伤检测和特性分析,而且补充了声发射被动检测方式,可以用于动态承力索绞线缺陷的主动监测,然而由于容易受到传播反射过程的介质损耗等影响,在大范围结点结构存在下的监测对象应用中受到了一定限制。穿透式导波法主要采用压电换能器在材料表面激发应力波,该应力波在内部与材料的微结构(材料基体和损伤区域)相互作用后继续传播,到达置于大型结构另一端的一个或多个接收透射波信号换能器。该法由于激励信号可设可控、传播距离远、接收信号覆盖面广等,在结构健康监测领域越来越受重视,特别适用于杆、管等细长状类特殊结构缺陷检测。因此,面对复杂结构损伤检测中出现的问题以及超声导波的特殊传输特性,将透射法与反射法结合起来,取两者优点是值得探索的一条新途径,并具有重要的学术价值和实际意义。

[0004] 时间反演是指对采集到的信号,在时域上将其反转的一种逆序处理方法。在频域上,这种处理等效于相位共轭。时间反演具有空间聚焦和时间聚焦两方面特性。时间反演的时间聚焦,指各路时间反演信号的最大能量在复杂媒质中经过多径传输后,会在同一时刻到达目标接收点。时间反演的空间聚焦,指在没有任何关于目标接收点先验知识的情况下,时间反演信号会自适应地聚焦到目标接收点所在位置。时间反演技术利用时间反演信号的聚焦特性有效降低了频散效应和非均匀介质的影响。目前人们已经利用时间反演聚焦信号的峰值、能量、时空聚焦本特征,应用时间反演技术处理各种损伤检测方法检测到的损伤信号后对多种结构进行了损伤检测。

[0005] 然而,传统时间反演方法,要求信号从损伤到接收阵列单元之间的路径较短且不尽相同,且所需的接收阵列单元数量尽可能多以弥补传播损耗,损伤目标点才可能成为空间最大信号所在的点被检测出来。而对于细长状实心结构,导波多以平面波的传播,同侧径向单元间的路径差异小,传统时间反演方法难以实现。

[0006] 本发明将传统的超声导波透射法、反射法与时间反演法相结合,有效补偿非均匀复杂环境、媒质引起的信号衰减,及细长状结构传感阵列聚焦困难等问题,且具备一定的抗干扰和抗噪声性能等优点。故此,在初步识别的基础上,实现细长型结构的高精度和高准确率的损伤检测,也是各类复杂长状类结构损伤检测方法今后非常重要的研究方向。

发明内容

[0007] 为解决上述技术问题,本发明的目的是提供一种基于超声导波的双向时间反演损伤成像方法。

[0008] 本发明的目的通过以下的技术方案来实现:

[0009] A采用调制的激励信号对损伤实物进行主动应力波探测,并在被测区域的投射端与反射端两端阵列上同步采集信号;

[0010] B对采集到的信号进行频散补偿分离,分离出纵向模态导波和弯曲模态导波;

[0011] C提取分离后的信号中的纵向模态导波,做时间反演处理,并放大反演后信号;

[0012] D将反演后信号导入有限元模型中进行仿真反演,并提取模型中所有点云所有时刻的位移值,进行时间、空间聚焦处理,得到振动云图;

[0013] E定义空间曲线将振动云图转为三维彩色云图,以三维彩色点云形式进行损伤成像。

[0014] 与现有技术相比,本发明的一个或多个实施例可以具有如下优点:

[0015] 1) 采用基于编码激励的主动超声导波探测,能够有效地增强信号幅度,提高信噪比,实现对细长状结构的长距离检测。

[0016] 2) 通过结合投射法、反射法与时间反演法,实现了对结构中损伤目标的聚焦检测,提高了损伤目标检测的分辨率与准确性。

[0017] 3) 将检测结果进行三维成像处理,更加直观清晰。

附图说明

[0018] 图1是本发明提供的方法流程图;

[0019] 图2是本发明的超声导波双向时间反演检测原理图;

[0020] 图3是三维仿真实施案例模型图;

[0021] 图4是同步采集传感器阵列两端的信号图;

[0022] 图5是信号分离后提取的纵向模态导波图;

[0023] 图6是案例模型Z方向双向时间反演聚焦振动分布图;

[0024] 图7是案例模型中定义的RGB三维空间;

[0025] 图8是案例模型中损伤三维点云图。

具体实施方式

[0026] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合实施例及附图对本发明作进一步详细的描述。

[0027] 如图1所示,展示了基于超声导波的双向时间反演损伤检测方法,该方法通过选择一个细长状的检测模型案例进行说明(如图2中(a)和(b)所示):

[0028] 步骤10采用调制的激励信号对损伤实物进行主动应力波探测,并在被测区域的投射端与反射端两端阵列上同步采集信号;

[0029] 在激励换能器阵列上加载初始激励信号:所述初始激励信号为汉宁窗调制的5峰值正弦窄带信号,在实施案例中,选取75Khz,幅值3Vpp,经功率放大器放大50x,所述换能器整理采用基于压电效应工作的长度型压电片,采用耦合剂粘贴与钢棒表面,实现振动与电信号的转换。

[0030] 对损伤两端——透射端与反射端的信号进行同步采集:波形发生器的 sync同步接口与数据采集卡的外触发接口相连,使得信号激励时采集卡开始采集,保证每次采样的时间起点均一致。数据采集卡为多通道采集卡,各个通道之间无延迟。透射端与反射端阵列分别接入数据采集卡的不同通路,保证在每一次激励时,两端信号均是同步采集具体实施案例见图3、4。

[0031] 参见图3,为模型案例中的纵向模态导波在损伤处的模态转换情况。低频纵向模态在长杆状钢棒中的波速最快,遇到损伤后,反射端、透射端均会接收到转换后的纵向模态及弯曲模态导波。

[0032] 参见图4,为模型案例中反射端、透射端提取到的节点位移值,以此表征长杆状钢棒表面振动情况。

[0033] 步骤20对采集到的信号进行频散补偿分离,分离出纵向模态导波和弯曲模态导波;

[0034] 对采集到的信号做频散补偿以分离模态:频散补偿可以理解为频散过程的逆过程,已知理论频散传递函数即可对导波频散信号加以补偿。设激励信号 $F(\omega)$ 激发出纵向模态L和弯曲模态F,在距离d上产生的传递函数为 $H_L(\omega)$ 和 $H_F(\omega)$,则接收到的混合模态导波信号为: $G_{LF}(\omega) = F(\omega)H_L(\omega) + F(\omega)H_F(\omega)$,先用 $H_L^{-1}(\omega)$ 对 $G_{LF}(\omega)$ 进行补偿,则得 $G_{LF}(\omega)H_L^{-1}(\omega) = F(\omega) + F(\omega)H_F(\omega)H_L^{-1}(\omega)$,对上式进行傅里叶逆变换得到时域信号,将 $F(\omega)$ 从补偿后的信号中去除,再将结果变为频域,再用 $H_L(\omega)$ 进行反补偿,即 $(G_{LF}(\omega)H_L^{-1}(\omega) - F(\omega))H_L(\omega) = F(\omega)H_F(\omega)$,则可得到分离后的弯曲模态F的频谱,再对其进行傅里叶逆变换,可得对应的时域波形。同理,可分离出纵向L模态导波。

[0035] 步骤30提取分离后的信号中的纵向模态导波,做时间反演处理,并放大反演后信号;

[0036] 14对分离后的信号做时间反演处理:时间反演是指对采集到的信号,在时域上将其反转的一种逆序处理方法。在频域上,这种处理等效于相位共轭。在实施案例中,将分离后的信号导入数字处理软件中,按照信号到达阵列的顺序进行前后反转,生成新的反演信号。具体实施案例如图5所示。

[0037] 参见图5,为模型案例中透射端、反射端经模态分离后的所提取的纵向模态导波,并进行时间反演后的结果。

[0038] 步骤40将反演后信号导入有限元模型中进行仿真反演,并提取模型中所有点云所有时刻的位移值,进行时间、空间聚焦处理,得到振动云图;

[0039] 将反演信号作为新的激励信号,导入有限元仿真模型中进行激励反演:根据被测物相关信息,在有限元软件中建立与实物想对应的模型,定义其几何参数、材料参数、仿真参数,将步骤4中的反演信号分别加载到仿真模型中与实物接收阵列相对应的位置,设置所需提取的特征参量,实施案例中选择提取节点的位移作为特征量。提交作业进行运算得到结果文件。

[0040] 将结果文件中的节点位移导出,导入数据处理软件做时间、空间聚焦处理:结果文件中,包含了每个时刻每个节点的位移值,将同一时刻同一节点坐标下,在不同端激励时产生的位移值相乘,再将所有时刻下的计算结果叠加,将叠加的结果作为此节点坐标的位移值。具体实施案例如图6,为案例模型Z方向双向时间反演聚焦的振动分布图。

[0041] 步骤50定义空间曲线将振动云图转为三维彩色云图,以三维彩色点云形式进行损伤成像。

[0042] 是自定义一个空间曲线将时间、空间聚焦后的位移值映射到RGB三维坐标中。处理后过后的位移值,是从一个最小值到最大值的线性递增集合,不利于成像显示。定义一个空间坐标,参见图7,xyz三个坐标轴分别代表颜色 RGB值,从中定义一条空间曲线,将位移值与此曲线映射,可使位移值中的分布于明显的色阶中,则损伤位置及其区域可明显被区分出来。将案例中图 6中信号进行处理得到图8的案例模型中损伤三维点云图。

[0043] 上述实施例具有较高的成像准确率及抗干扰能力,解决了传统方法存在的准确率低、可视化程度低等不足。在复杂环境下,实现了对绞线、管道、钢杆等各类复杂长状结构的损伤三维成像过程。并从整体上分析损伤的特征,创新性地提取不同模态导波进行透射、反射两端同时做时间反演分析,具有重要的学术价值和实际意义。

[0044] 虽然本发明所揭露的实施方式如上,但所述的内容只是为了便于理解本发明而采用的实施方式,并非用以限定本发明。任何本发明所属技术领域内的技术人员,在不脱离本发明所揭露的精神和范围的前提下,可以在实施的形式上及细节上作任何的修改与变化,但本发明的专利保护范围,仍须以所附的权利要求书所界定的范围为准。

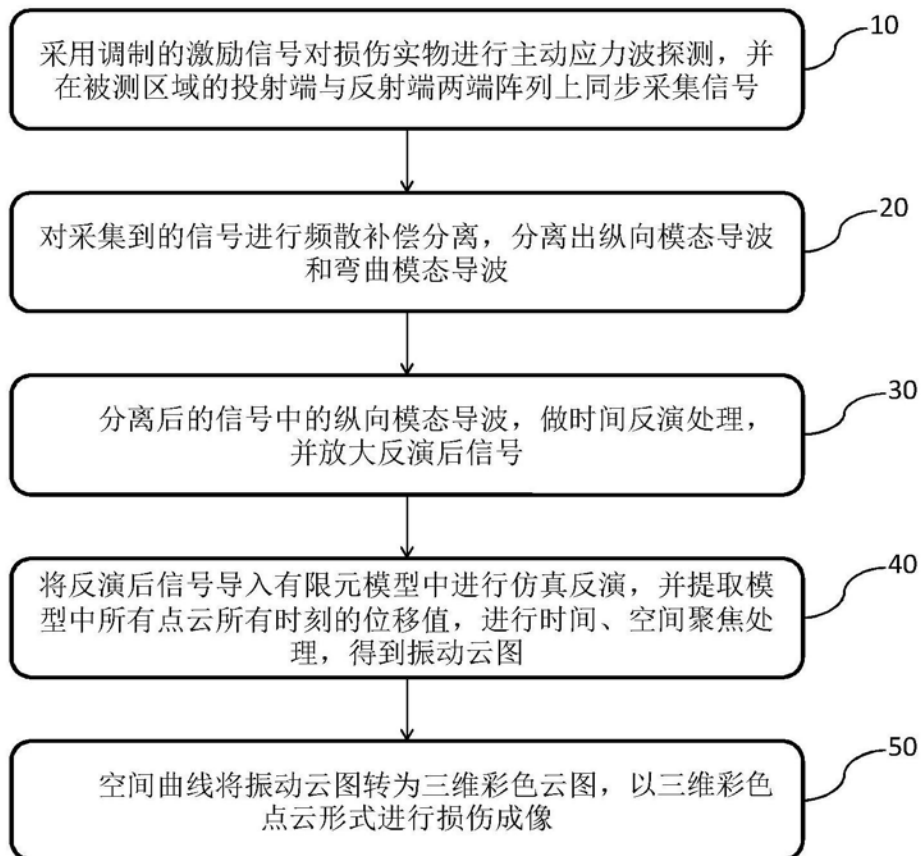


图1

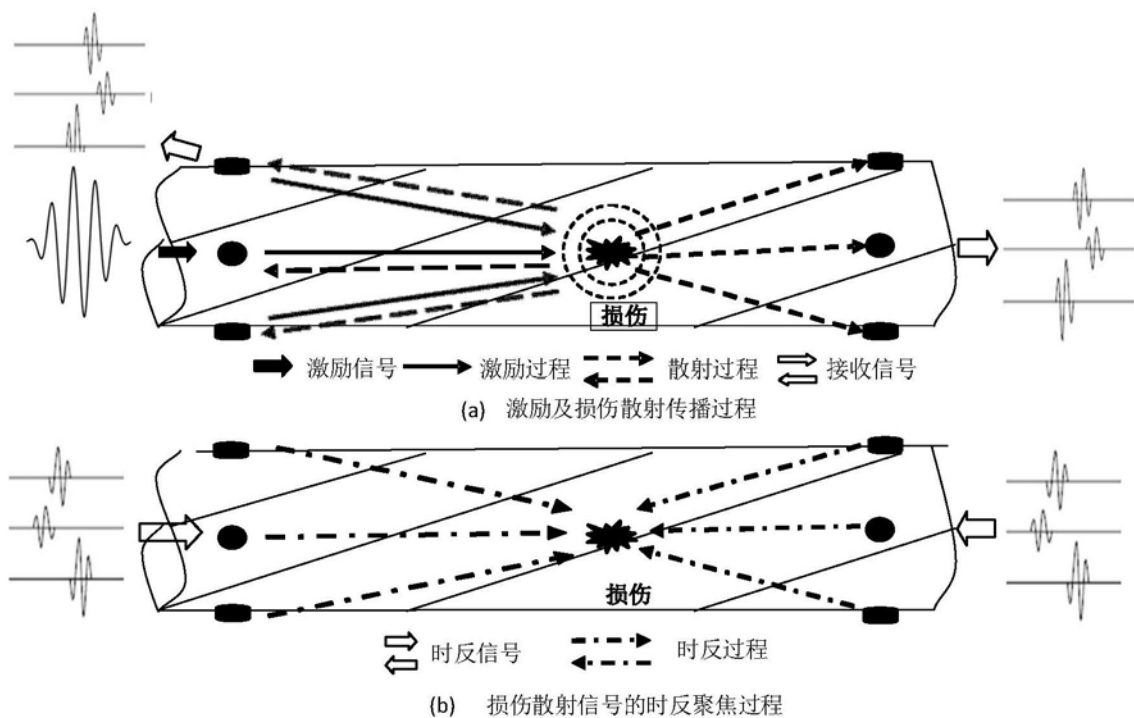


图2

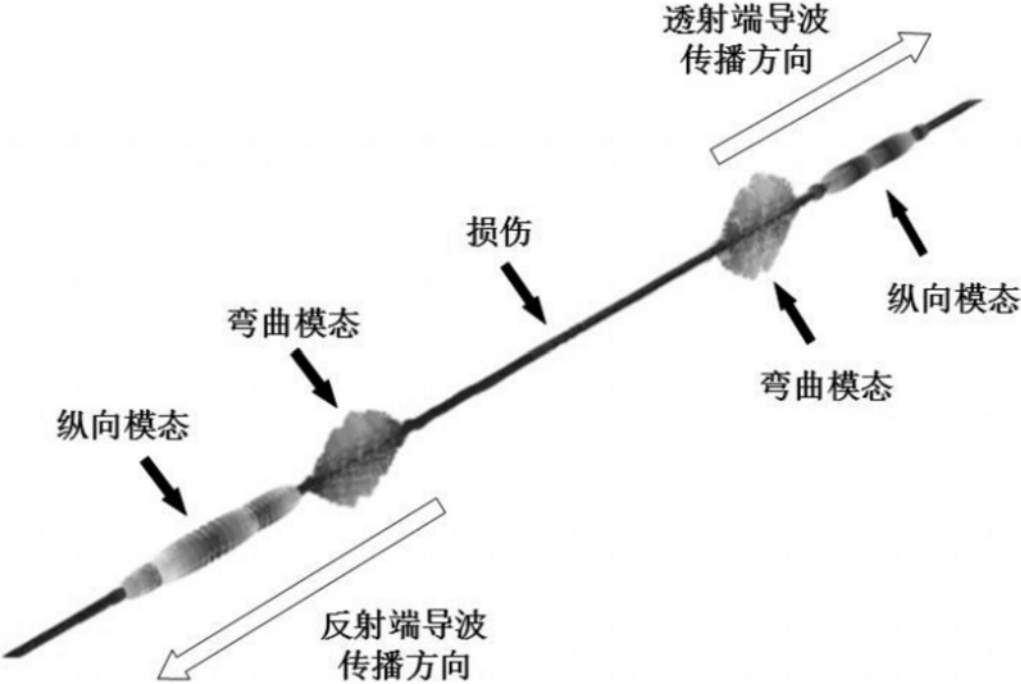


图3

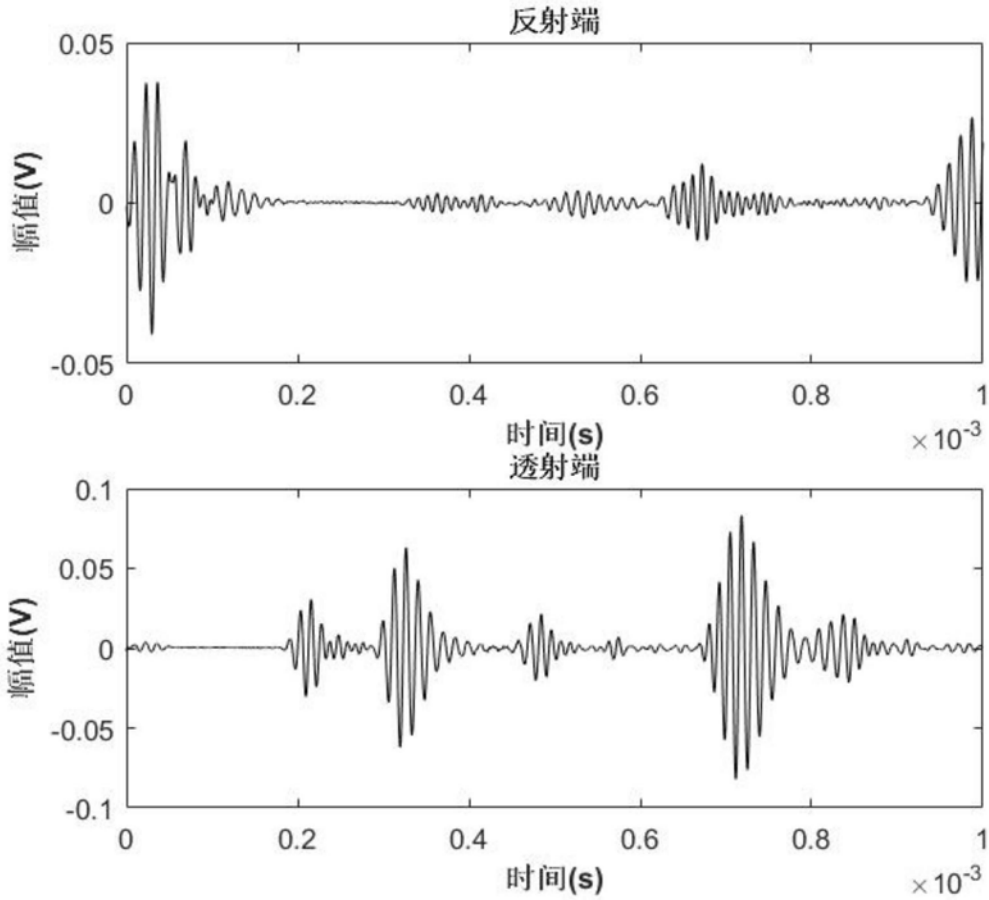


图4

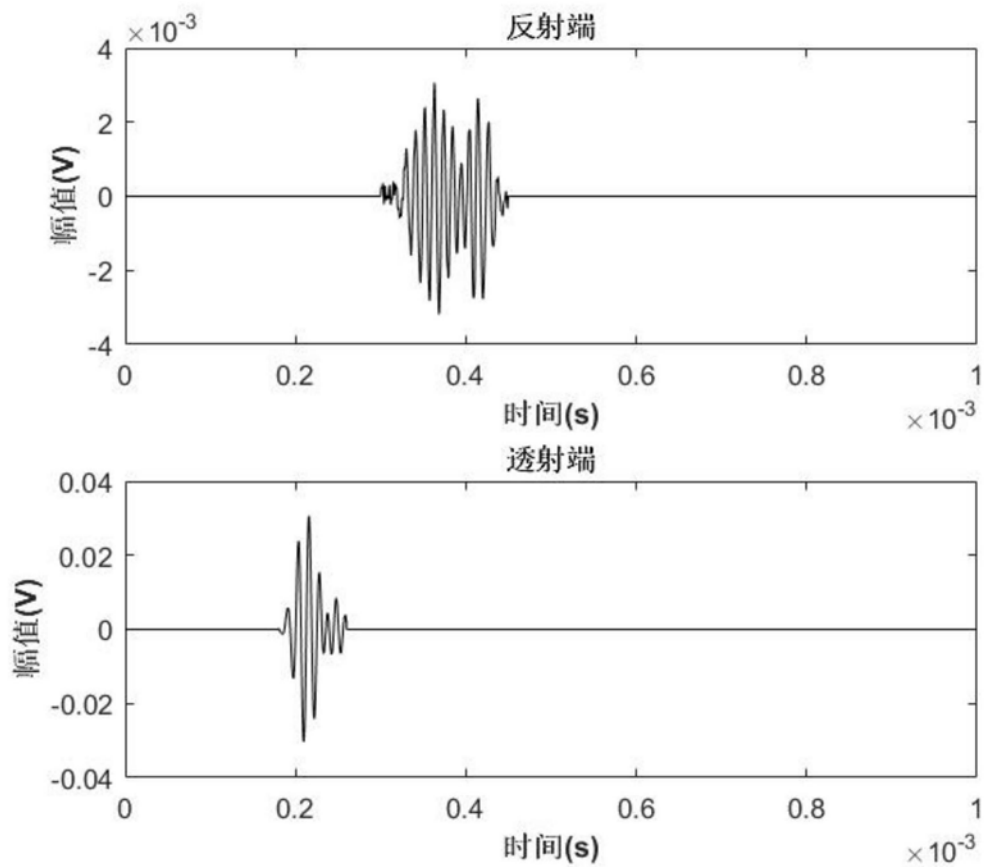


图5

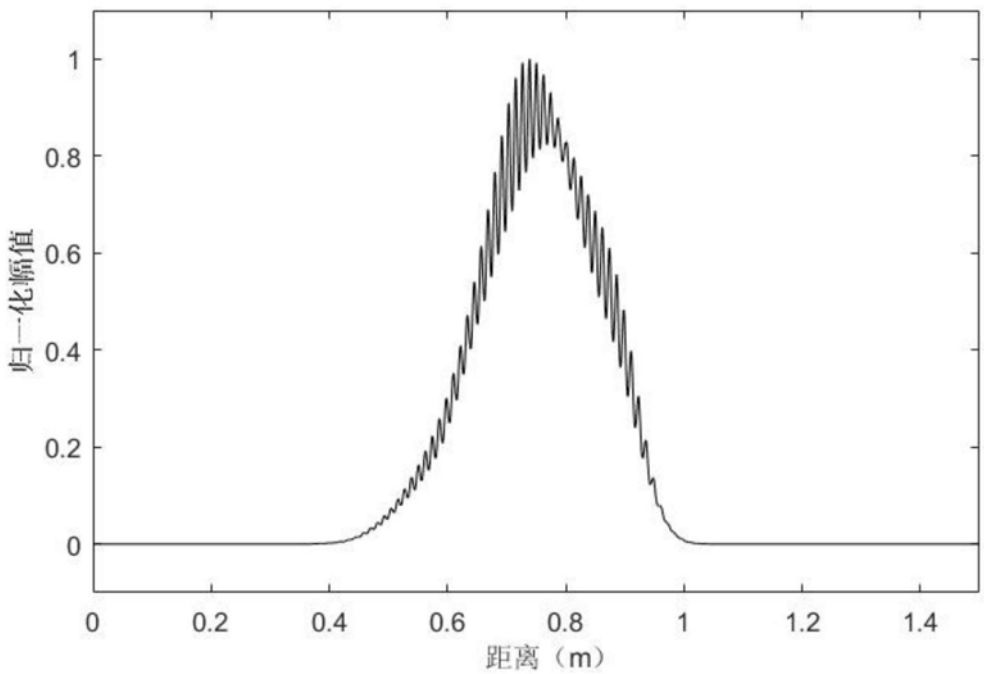


图6

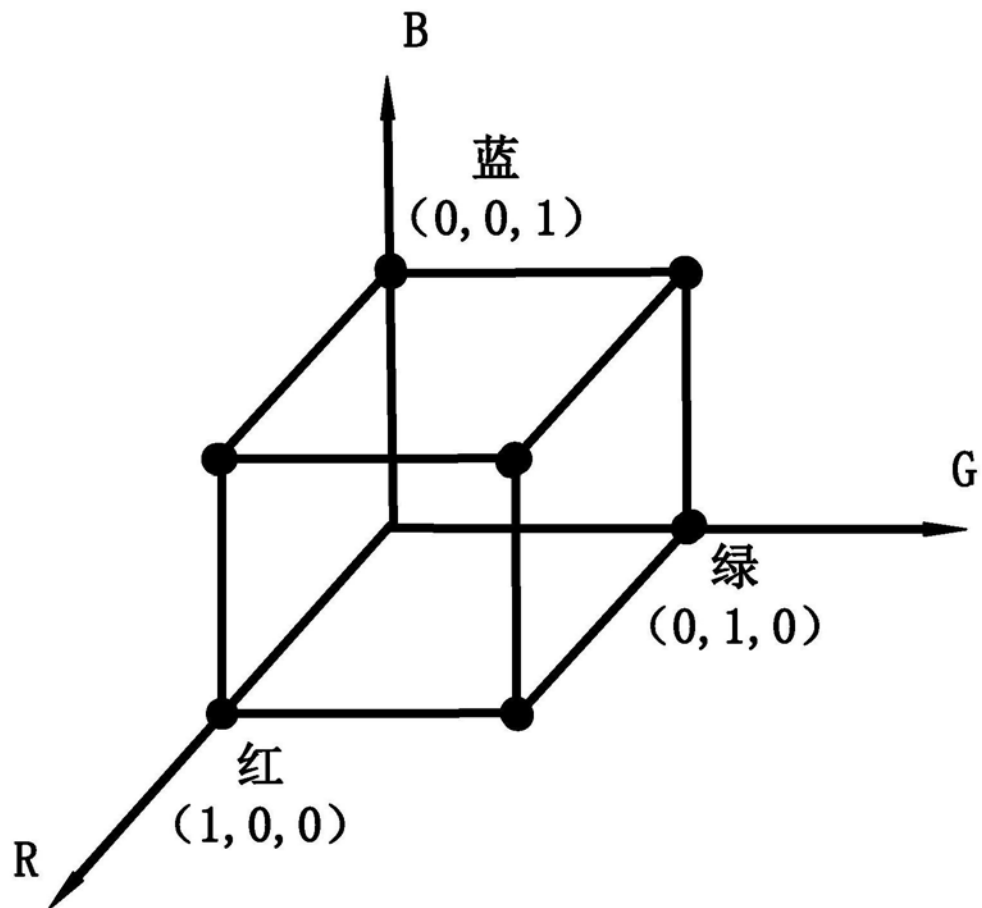


图7

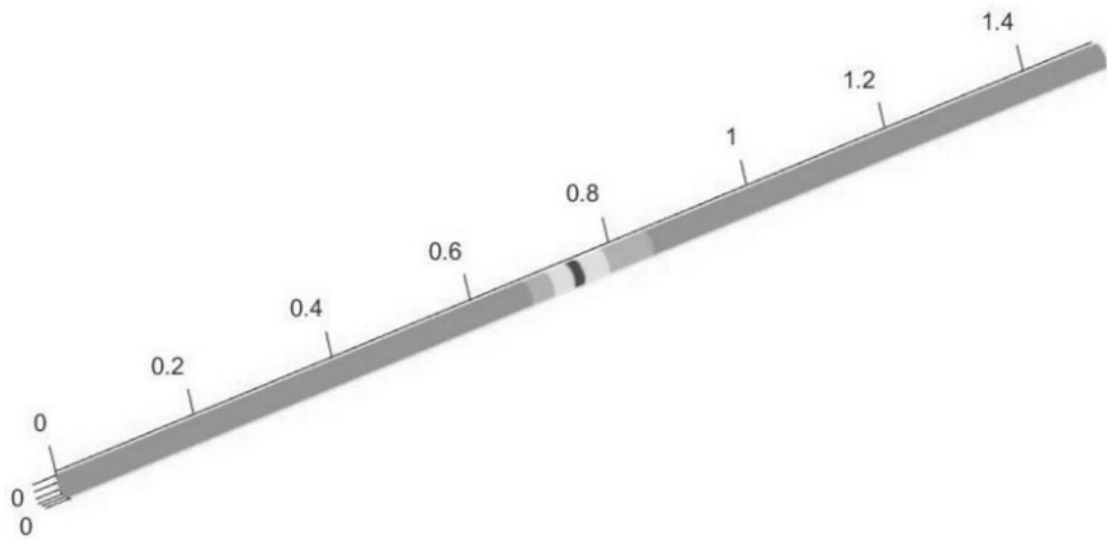


图8