



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106066365 A

(43)申请公布日 2016. 11. 02

(21)申请号 201610700776.3

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2016.08.22

G01N 29/06(2006.01)

(71)申请人 中国石油化工股份有限公司

地址 100728 北京市朝阳区朝阳门北大街  
22#

申请人 中石化长输油气管道检测有限公司  
杭州浙达精益机电技术股份有限公  
司  
中国石化管道储运有限公司

(72)发明人 薛正林 韩焜 骆苏军 袁方  
刘觉非 马云修 李健 袁龙春  
刘洋 成文峰 郑树林 王书增  
杨永前

(74)专利代理机构 徐州市三联专利事务所  
32220

代理人 耿岩

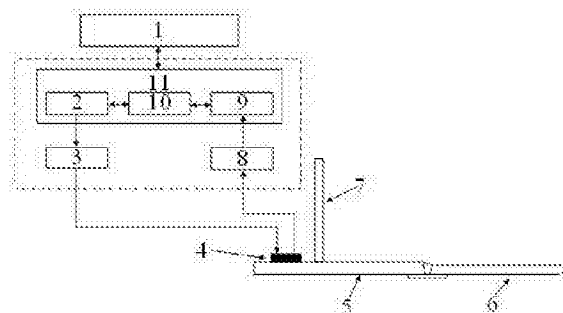
权利要求书2页 说明书4页 附图5页

(54)发明名称

基于磁致式水平剪切波的储罐底板在役检测系统与amp;方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于磁致式水平剪切波的储罐底板在役检测方法与系统,该系统中的多通道信号控制与amp;处理模块由多通道激励信号发生单元、多通道回波信号处理单元和时序控制单元组成;上位机与多通道信号控制与amp;处理模块相连,多通道激励信号发生单元与功率放大模块相连,功率放大模块与换能器阵列相连,将经过功率放大且经时序调整的激励信号输入到换能器阵列中,换能器阵列与前置放大模块相连,前置放大模块与多通道回波信号处理单元相连,多通道回波处理单元与上位机相连,多通道回波处理单元将经过处理的回波信号上传到上位机;本发明仅激励一次即可完成对导波覆盖区域的完整检测;本发明使用的成像算法的运算效率远快于常用的导波时域成像算法。



1. 一种基于磁致式水平剪切波的储罐底板在役检测系统,其特征在于:该系统包括上位机(1)、多通道信号控制与处理模块(11)、功率放大模块(3)、前置放大模块(8)和换能器阵列(4);

所述多通道信号控制与处理模块(11)由多通道激励信号发生单元(2)、多通道回波信号处理单元(9)和时序控制单元(10)组成;

所述上位机(1)与多通道信号控制与处理模块(11)相连,所述多通道激励信号发生单元(2)与功率放大模块(3)相连,所述功率放大模块(3)与换能器阵列(4)相连,将经过功率放大且经时序调整的激励信号输入到换能器阵列(4)中,所述换能器阵列(4)与前置放大模块(8)相连,所述前置放大模块(8)与多通道回波信号处理单元(9)相连,多通道回波处理单元(9)与上位机(1)相连,多通道回波处理单元(9)将经过处理的回波信号上传到上位机(1)。

2. 根据权利要求1所述的基于磁致式水平剪切波的储罐底板在役检测系统,其特征在于:所述换能器阵列(4)采用的是磁致伸缩式换能器,每个磁致伸缩式换能器能够收发两路信号,实现激励导波的方向控制。

3. 根据权利要求1所述的基于磁致式水平剪切波的储罐底板在役检测系统,其特征在于:所述换能器阵列(4)排布在壁板(7)外的边缘板(5)上。

4. 根据权利要求3所述的基于磁致式水平剪切波的储罐底板在役检测系统,其特征在于:所述换能器阵列(4)中的换能器呈线型排布。

5. 一种利用权利要求1所述的基于磁致式水平剪切波的储罐底板在役检测系统的方法,其特征在于,该方法包括以下步骤,

步骤一:换能器阵列(4)设置,将整个储罐底板划分成多个扇形区域,每个扇形区域中在壁板(7)外侧的边缘板(5)上设定线型换能器阵列的放置位置,以储罐底板中心为原点建立坐标系,记录每个扇形区域中设置的换能器阵列(4)位置的坐标,然后将换能器安装于其中一个位置;

步骤二:换能器阵列(4)中所有换能器同时激励导波,每个换能器中通入两路经过汉宁窗调制的5个周期的正弦电信号,这两路信号的相位差为 $90^\circ$ ,从而使激励的向着储罐底板外部传播的导波相互抵消,而向储罐底板内部传播的导波相干叠加,达到方向控制的目的,每次激励过程中,阵列中的换能器同时开始接收信号,将阵列中每个换能器编号 $N_i$ ,每个换能器接收到两路信号,这两路信号经过时序控制后叠加在一起作为该换能器的接收信号,每次激励后,换能器阵列接收到多个信号,构成该扇形检测区域的原始采集数据矩阵 $S_i$ ;

步骤三:将换能器阵列(4)移动到下一个扇形检测区域的换能器阵列安装位置,重复步骤二的过程,直到获得所有扇形检测区域的原始采集数据矩阵 $S_j$ ;

步骤四:利用每个扇形检测区域的原始采集数据矩阵 $S_j$ 和采集参数矩阵 $P$ 即可通过导波反演聚焦算法进行每个区域的图像重建,再通过步骤一中每个扇形检测区域中换能器阵列(4)的安装坐标将区域重建图像组装成整个储罐底板的检测图像。

6. 根据权利要求5所述的基于磁致式水平剪切波的储罐底板在役检测方法,其特征在于,所述反演聚焦算法包括以下步骤,

步骤一:输入原始采集数据矩阵 $S$ 、采集参数矩阵 $P$ ;

步骤二:二维傅里叶变换,得到原始数据的频域矩阵 $FS$ ,信号截取,得到主频带的数

矩阵 $FS(0)$ ;

步骤三:检测距离均匀离散化,离散成 $N$ 段,计算传递矩阵 $H$ ,计数 $Indz=1$ ;

步骤四:计算第 $Indz$ 段频域数据矩阵 $FS(Indz)=FS(Indz-1)*H$ ;

步骤五:如果 $Indz \geq N$ 时,每个频域数据矩阵沿着频率方向求和,再进行傅里叶变换,得到每一段的图像数据矢量 $CV(Indz)$ ,输出反演聚焦图像 $C$ ;

如果 $Indz < N$ 时,返回到步骤四继续执行。

## 基于磁致式水平剪切波的储罐底板在役检测系统与方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于超声导波测量与压力容器无损检测领域,具体涉及一种利用磁致式水平剪切波实现对储罐底板腐蚀缺陷在役检测成像的系统与方法。

### 背景技术

[0002] 随着石油工业的发展,储罐作为生产、输运中常见的存储设备,其应用正在不断地增加。储罐中存储的一般为石油化工产品,长期服役过程中,储罐底板因多种因素作用而产生腐蚀,导致最终的储存介质泄漏以及结构失效。根据相关资料分析,在储罐的腐蚀失效中,储罐底板的腐蚀失效占80%。当前,世界各国都愈加重视储罐的结构健康检测与监测,而储罐底板正是关注的重点。

[0003] 对于储罐底板的腐蚀缺陷检测常用的方法有漏磁、渗透、超声、射线等。这些方法都为逐点式检测方法。检测进行前需要将储罐清空,清理,然后再由人员进入储罐内部,使用相关设备对储罐底板进行每个区域的检测。这些方法的检测成本高、准备工作多、检测效率低、影响储罐的正常使用。当前,研发一种简单高效、低成本、能够实现对储罐底板的在役检测的无损检测技术成为石油化工行业中研究的热点之一。

[0004] 导波以其传输距离远、覆盖面积大、对于缺陷敏感等优点使其适合储罐底板的大范围快速检测。然而目前我国对于储罐底板超声导波无损检测技术的研究较少。

[0005] 专利号为CN2011012810762的发明专利《基于超声Lamb波的储罐底板腐蚀检测系统及方法》提出了一种使用Lamb波对于储罐底板腐蚀缺陷进行检测并成像的方法,然而Lamb波存在频散,检测信号存在失真。在板类结构浸液环境中Lamb波能量泄漏严重,传播距离不长,专利中使用的成像方法为时域成像算法,成像速度慢,并不适用于大面积检测范围的缺陷成像。

[0006] 专利号CN2011101246471的发明专利《石油储罐底板超声导波检测方法和系统》提出使用换能器阵列实现超声导波聚焦的检测方法。然而这种方法对于延时精度要求高,实现复杂,检测时需要多次发射使焦点在检测范围内移动,检测效率低。

[0007] 现有的技术对于储罐底板的超声导波检测,尚无一种快速高效、检测范围大、缺陷定位准确、精度高的检测方法。

### 发明内容

[0008] 根据现有技术的不足,提供一种快速高效,检测范围大、缺陷检测精度高、定位准确的基于磁致式水平剪切波的储罐底板在役检测系统与方法。

[0009] 本发明按以下技术方案实现:

[0010] 本发明使用水平剪切波对储罐底板的腐蚀缺陷进行无损检测,具体过程为,使用磁致伸缩式换能器线型阵列在储罐壁板外的边缘板上激发低频(20KHz~250KHz)的零阶水平剪切波(SH0波),水平剪切波与腐蚀缺陷相互作用产生回波。使用换能器阵列接收回波信号后,运用导波反演算法进行检测区域的图像重建。

[0011] 一种基于磁致式水平剪切波的储罐底板在役检测系统,该系统包括上位机、多通道信号控制与处理模块、功率放大模块、前置放大模块和换能器阵列;所述多通道信号控制与处理模块由多通道激励信号发生单元、多通道回波信号处理单元和时序控制单元组成;所述上位机与多通道信号控制与处理模块相连,所述多通道激励信号发生单元与功率放大模块相连,所述功率放大模块与换能器阵列相连,将经过功率放大且经时序调整的激励信号输入到换能器阵列中,所述换能器阵列与前置放大模块相连,所述前置放大模块与多通道回波信号处理单元相连,多通道回波处理单元与上位机相连,多通道回波处理单元将经过处理的回波信号上传到上位机。

[0012] 优选的是,所述换能器阵列采用的是磁致伸缩式换能器,每个磁致伸缩式换能器能够收发两路信号,实现激励导波的方向控制。

[0013] 优选的是,所述换能器阵列排布在壁板外的边缘板上。

[0014] 优选的是,所述换能器阵列中的换能器呈线型排布。

[0015] 一种基于磁致式水平剪切波的储罐底板在役检测系统的方法,该方法包括以下步骤:

[0016] 步骤一:换能器阵列设置,将整个储罐底板划分成多个扇形区域,每个扇形区域中在壁板外侧的边缘板上设定线型换能器阵列的放置位置,以储罐底板中心为原点建立坐标系,记录每个扇形区域中设置的换能器阵列位置的坐标,然后将换能器安装于其中一个位置;

[0017] 步骤二:换能器阵列中所有换能器同时激励导波,每个换能器中通入两路经过汉宁窗调制的5个周期的正弦电信号,这两路信号的相位差为 $90^\circ$ ,从而使激励的向着储罐底板外部传播的导波相互抵消,而向储罐底板内部传播的导波相干叠加,达到方向控制的目的,每次激励过程中,阵列中的换能器同时开始接收信号,将阵列中每个换能器编号 $N_i$ ( $i=1,2,3\cdots n$ , $n$ 为阵列中换能器的个数),每个换能器接收到两路信号,这两路信号经过时序控制后叠加在一起作为该换能器的接收信号,每次激励后,换能器阵列接收到 $n$ 个信号,构成该扇形检测区域的原始采集数据矩阵 $S$ ;

[0018] 步骤三:将换能器阵列移动到下一个扇形检测区域的换能器阵列安装位置,重复步骤二的过程,直到获得所有扇形检测区域的原始采集数据矩阵 $S_j$ ( $j=1,2,3\cdots m$ , $m$ 为划分的扇形区域个数);

[0019] 步骤四:利用每个扇形检测区域的原始采集数据矩阵 $S_j$ 和采集参数矩阵 $P$ 即可通过导波反演聚焦算法进行每个区域的图像重建,再通过步骤一中每个扇形检测区域中换能器阵列的安装坐标将区域重建图像组装成整个储罐底板的检测图像。

[0020] 所述反演聚焦算法包括以下步骤:

[0021] 步骤一:输入原始采集数据矩阵 $S$ 、采集参数矩阵 $P$ ;

[0022] 步骤二:二维傅里叶变换,得到原始数据的频域矩阵 $FS$ ,信号截取,得到主频带的频域数据矩阵 $FS(0)$ ;

[0023] 步骤三:检测距离均匀离散化,离散成 $N$ 段,计算传递矩阵 $H$ ,计数 $Indz=1$ ;

[0024] 步骤四:计算第 $Indz$ 段频域数据矩阵 $FS(Indz)=FS(Indz-1)*H$ ;

[0025] 步骤五:如果 $Indz \geq N$ 时,每个频域数据矩阵沿着频率方向求和,再进行傅里叶变换,得到每一段的图像数据矢量 $CV(Indz)$ ,输出反演聚焦图像 $C$ ;

- [0026] 如果 $Indz < N$ 时,返回到步骤四继续执行。
- [0027] 本发明有益效果:
- [0028] 第一,本发明的方法实施可在储罐正常工作下进行,无需对储罐进行清罐处理,无需进入储罐内部;
- [0029] 第二,本发明仅激励一次即可完成对导波覆盖区域的完整检测;
- [0030] 第三,本发明使用的成像算法的运算效率远快于常用的导波时域成像算法,符合实际检测工作需求。

### 附图说明

- [0031] 图1:多通道检测系统框图;
- [0032] 图2:检测区域划分示意图;
- [0033] 图3:换能器阵列安装示意图;
- [0034] 图4:反演聚焦算法原理示意图;
- [0035] 图5:成像算法流程图;
- [0036] 图6:厚度12mm的钢板的SH波群速度频散曲线;
- [0037] 图7:零阶水平剪切波(SH0)的位移结构图;
- [0038] 图中:1、上位机,2、多通道激励信号发生单元,3、功率放大模块,4、换能器阵列,5、边缘板,6、中幅板,7、壁板,8、前置放大模块,9、多通道回波信号处理单元,10、时序控制单元,11、多通道信号控制与处理模块。

### 具体实施方式

[0039] 下面结合附图和优选的实施方式对本发明作进一步详细描述。权利要求中构成要件和实施例中具体实例之间的对应关系可以如下例证。这里的描述意图在于确认在实施例中描述了用来支持在权利要求中陈述的主题的具体实例,由于在实施例中描述了实例,不意味着该具体实例不表示构成要件。相反地,即使在此包含了具体实例作为对应一个构成要件的要素特征,也不意味着该具体实例不表示任何其它构成要件。

[0040] 此外,这里的描述不意味着对应于实施例中陈述的具体实例的所有主题都在权利要求中引用了。换句话说,这里的描述不否认这种实体,即对应实施例包含的具体实例,但不包含在其任何一项权利要求中,即,能够在以后的修正被分案并申请、或增加的可能发明的实体。

[0041] 实施例:

[0042] 如图1所示,一种基于磁致式水平剪切波的储罐底板在役检测系统,该系统包括上位机1、多通道信号控制与处理模块11、功率放大模块3、前置放大模块8和换能器阵列4;多通道信号控制与处理模块11由多通道激励信号发生单元2、多通道回波信号处理单元9和时序控制单元10组成;上位机1与多通道信号控制与处理模块11相连,多通道激励信号发生单元2与功率放大模块3相连,功率放大模块3与换能器阵列4相连,将经过功率放大且经时序调整的激励信号输入到换能器阵列4中,换能器阵列4与前置放大模块8相连,前置放大模块8与多通道回波信号处理单元9相连,多通道回波处理单元9与上位机1相连,多通道回波处理单元9将经过处理的回波信号上传到上位机1。

[0043] 以浮顶油罐为例,其储罐底板为圆形,如图2所示,对于要检测的储罐底板,以储罐底板中心为原点建立极坐标系。将整个储罐底板划分为多个扇形检测区域,划分的个数根据储罐底板的面积来确定。在极坐标系中确定每个扇形区域中换能器阵列4安装位置的极坐标,以此作为最终储罐底板缺陷检测成像的坐标依据。如图3所示,每个扇形检测区域中,换能器阵列4都安装在壁板7外的边缘板5上,换能器阵列4中换能器呈线型排布。

[0044] 检测中选择激励的导波为零阶水平剪切波(即SH0波)。选择SH0波的原因为:第一,如图6所示,SH0波是不频散的,其群速度不随激励频率而变化,从而保证在接收到的信号不会出现波包的时域延拓,降低了后期信号处理的复杂性,有利于对于信号中有效信息的提取;第二,如图7所示,SH0波对于板厚方向各位置的位移振幅保持一致,传播过程中覆盖检测区域的整个横截面,保证了对于板中不同深度的缺陷有相同的检测灵敏度;第三,相对于Lamb波来说,SH0波只存在面内位移,理论上来说,其在储罐底板的传播过程中不受储罐中的液体或者储罐底板下侧的起支撑左右的泥沙的影响,从而保证板中的导波能量的最小程度的损失,使检测距离显著提高。

[0045] 对于某一扇形检测区域,在保证成像分辨率的情况下,根据其面积确定排布的换能器阵列中换能器的个数与换能器之间的间距,所采用的换能器为磁致伸缩式导波换能器,该种换能器能够实现导波的定向发射,使换能器阵列4激励的导波仅向储罐底板内部传播。在某一扇形检测区域的指定位置安装好换能器阵列4。激励信号为5个周期的经过汉宁窗调制的正弦信号,换能器阵列4中的所有换能器同时激励,然后开始接收,得到的接收信号即为该区域的原始采集数据矩阵S。对于一个扇形检测区域,只需一次激励即可完成检测。将换能器阵列4移动到下一个扇形区域,重复以上过程即可完成对于储罐的全部检测。假设整个储罐被划分为m个扇形检测区域,使用的换能器阵列4中有n个换能器,那么,对于第j个扇形检测区域,其原始采集数据矩阵为 $S_j(j=1,2,3,\dots,m)$ ,包含n组时域信号。对于整个储罐底板,仅需m次激励即可完成全部检测,总的的数据量为 $m*n$ 组时域信号。

[0046] 对于每个扇形检测区域,使用的成像算法为反演聚焦算法,其基本原理如图4所示,假设换能器阵列所在的位置为x轴上,导波发射方向为z轴正向,当检测区域存在缺陷时,缺陷的回波信号沿着z轴负向传播,被位于 $z=0$ 的换能器阵列接收到,假设其经过二维傅里叶变换后的频域矩阵为 $FS_{z=0}$ ,若将换能器阵列向z轴正向移动到 $z=z_1$ 上,对于同一个缺陷的回波信号的频域矩阵为 $FS_{z=z_1}$ ,则存在传递矩阵 $H_{z_1}$ ,满足 $FS_{z=z_1}=FS_{z=0}*H_{z_1}$ ,那么当移动换能器阵列与缺陷处于相同的z向位置时,接收到的缺陷信号有最大的横向分辨率,从而达到了聚焦的目的。具体的步骤为:首先确定z向的检测范围,将检测范围沿着z轴划分为N段,换能器阵列可认为位于第0段;根据每一段的检测距离可确定传递矩阵H,然后利用设定的采集参数矩阵P,通过二维傅里叶变换计算第0段接收信号的频域矩阵 $FS(0)$ ,再计算每一段频域矩阵,第indz段的频域矩阵等于第indz-1段的频域矩阵与传递矩阵H的乘积,即 $FS(indz)=FS(indz-1)*H$ 。最后将每一段的频域矩阵经过逆变换再组装在一起即为该检测区域的反演聚焦图像。详细步骤如图5所示。

[0047] 在得到每个扇形检测区域的缺陷检测图像后,根据每个区域的换能器阵列的极坐标,即可将所有的区域缺陷检测图像组装成整个储罐底板的缺陷检测图像。以上所有成像过程都在上位机1中完成。

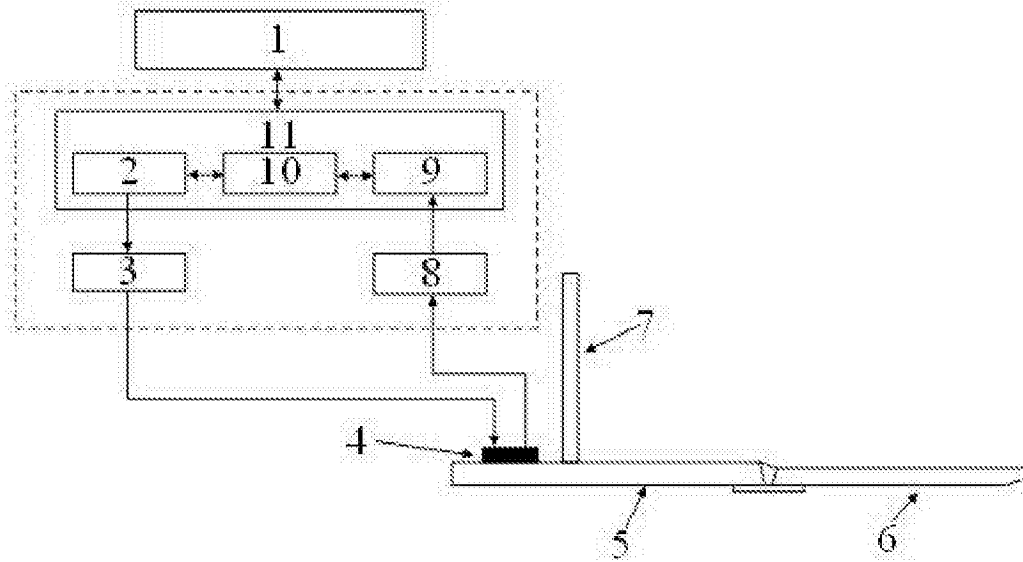


图1

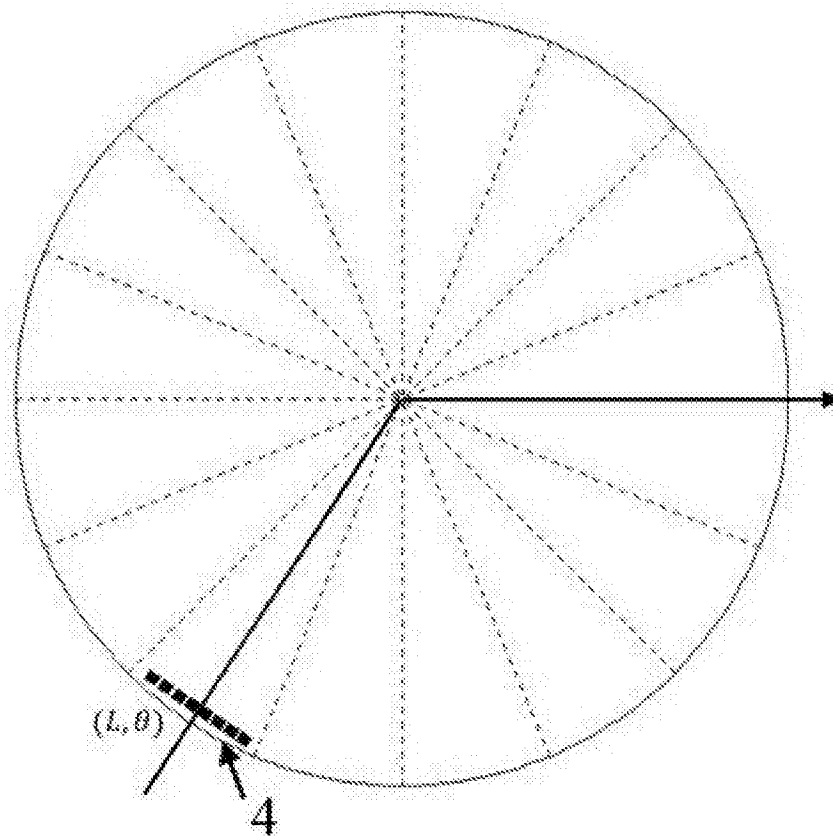


图2



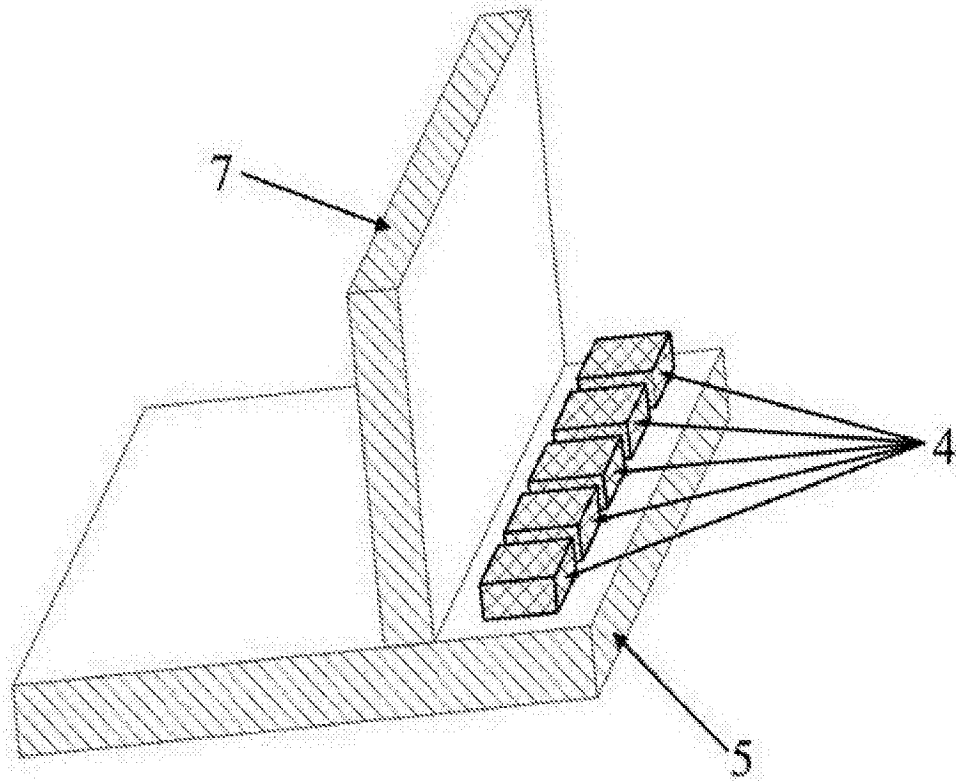


图3

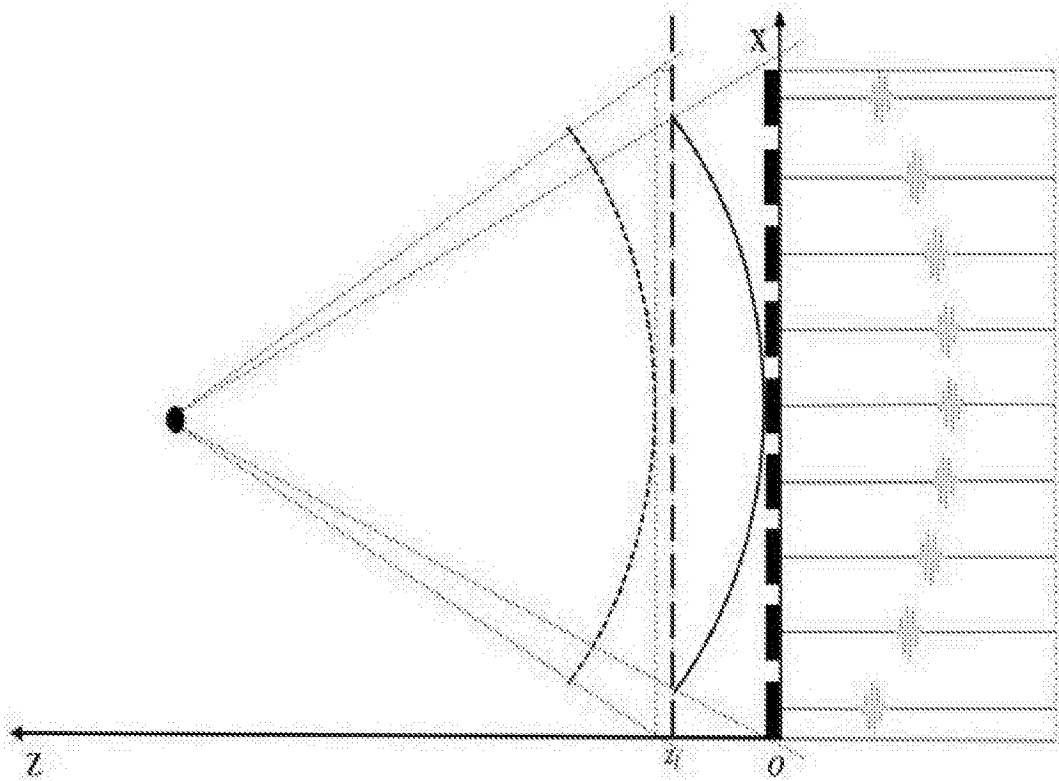


图4

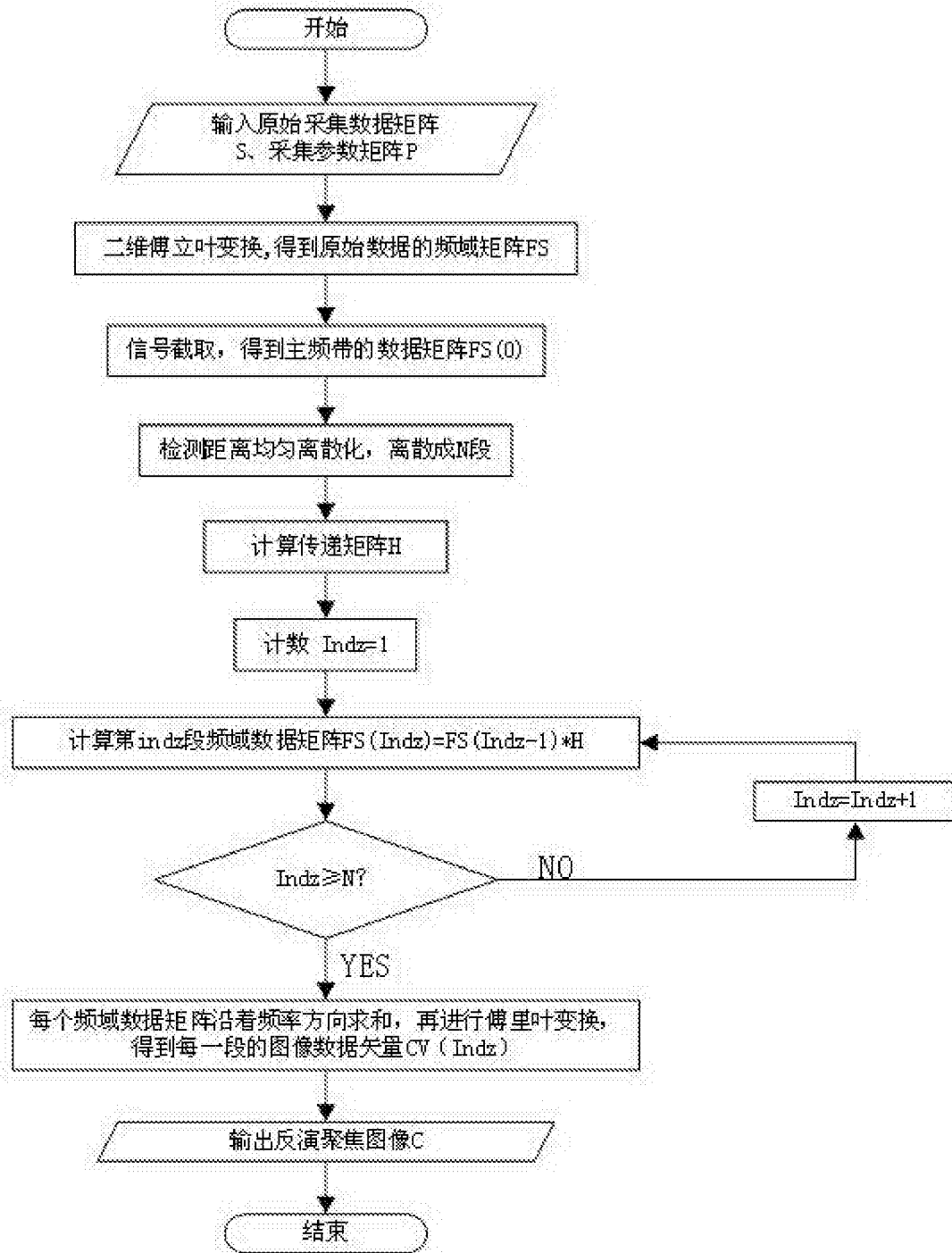


图5

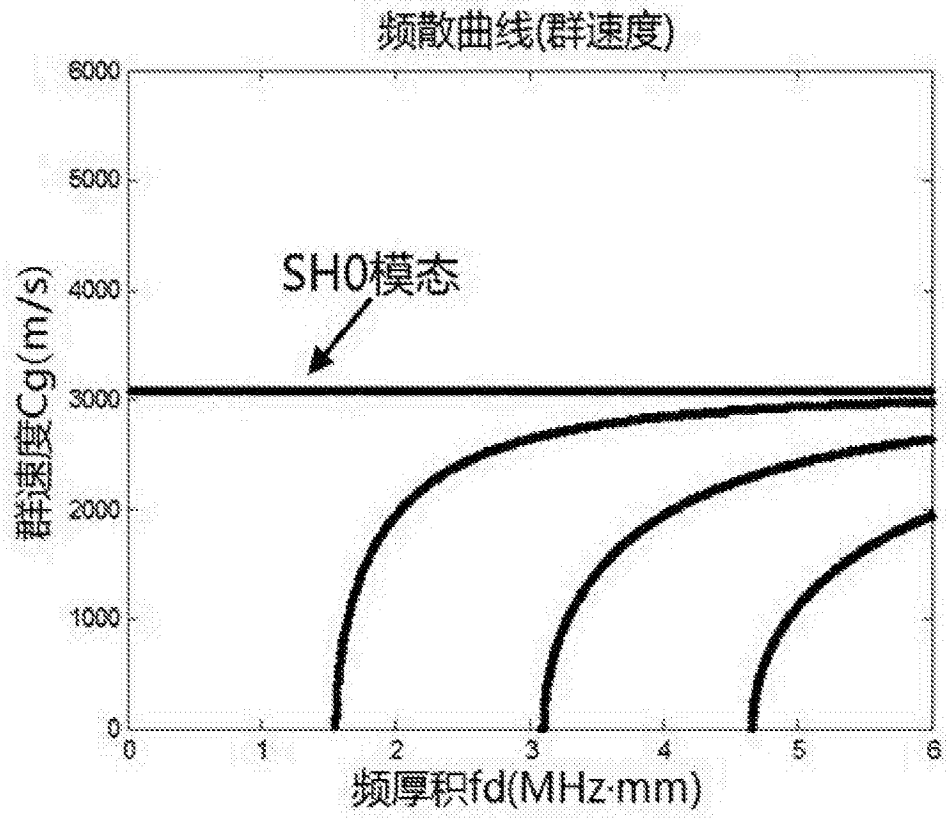


图6

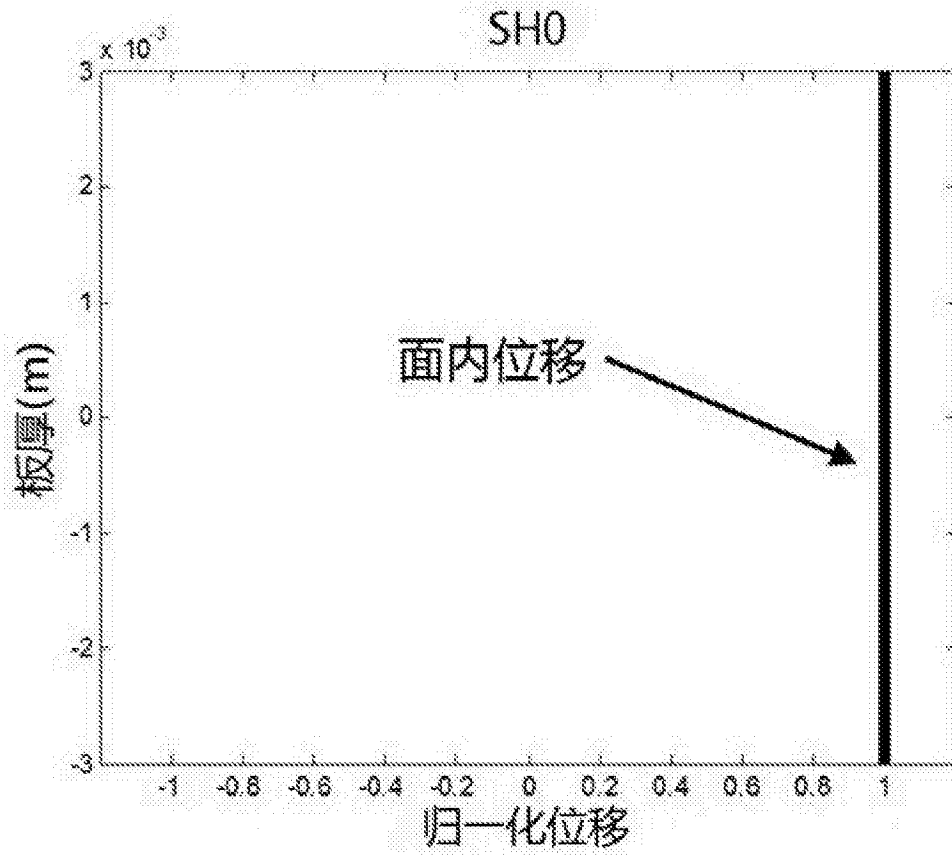


图7