



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103412053 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 18

(21) 申请号 201310308631. 5

(22) 申请日 2013. 07. 22

(73) 专利权人 北京航空航天大学
地址 100191 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 何田 肖登红 刘献栋 单颖春
于海生

(74) 专利代理机构 北京慧泉知识产权代理有限公司 11232

代理人 王顺荣 唐爱华

(51) Int. Cl.

G01N 29/26(2006. 01)

G01N 29/14(2006. 01)

G01S 5/18(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101295017 A, 2008. 10. 29,

CN 101806882 A, 2010. 08. 18,

CN 101907707 A, 2010. 12. 08,

CN 102645484 A, 2012. 08. 22,

CN 102661998 A, 2012. 09. 12,

CN 102928818 A, 2013. 02. 13,

CN 1720007 A, 2006. 01. 11,

US 3985024 A, 1976. 10. 12,

US 6009045 A, 1999. 12. 28,

Gregory C. McLaskey et al.. Beamforming array techniques for acoustic emission monitoring of large concrete structures. 《Journal of Sound and Vibration》. 2010, 第 329 卷 (第 12 期), 第 2384-2394 页.

Tian He et al.. Near-field beamforming analysis for acoustic emission source localization. 《Ultrasonics》. 2012, 第 52 卷 (第 5 期),

何田 等. 基于近场波束形成法的声发射源定位研究. 《振动工程学报》. 2012, 第 25 卷 (第 2 期),

孙国豪 等. 圆形波导杆中两种情况下声信号的传播特性. 《华东理工大学学报 (自然科学版)》. 2010, 第 36 卷 (第 6 期),

审查员 卞庆娜

权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 4 页

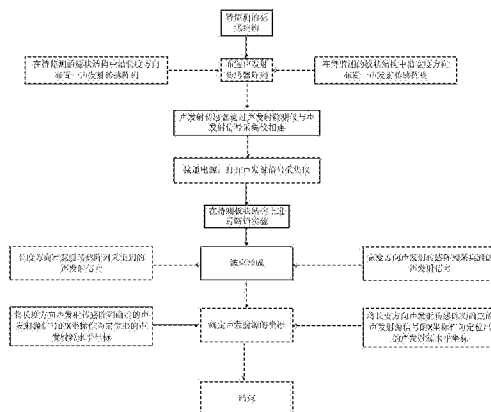
(54) 发明名称

一种基于双声发射传感阵列和波束形成的无需波速的声发射源定位方法

(57) 摘要

一种基于双声发射传感阵列和波束形成的无需波速的声发射源定位方法,其步骤为:一:在待监测的板状结构中沿长度和宽度方向各布置一声发射传感阵列,以长度方向声发射传感阵列方向作为 X 轴,以宽度方向声发射传感阵列作为 Y 轴,二者交点即为原点,建立坐标系;二:将声发射信号检测系统中的声发射传感器通过前端放大器与声发射信号采集仪相连;三:接通电源,打开声发射信号采集仪,然后进行断铅实验,观察各通道波形是否正常显示;若正常则进行数据采集;四:分别对长度方向和宽度方向声发射传感阵列采集到的声发射信号进行波束形成;五:将长度方向声发射传感阵列确定的 X 坐标作为水平坐标,将宽度方向声发射传感阵列确定的 Y 坐标作为垂直坐

标。



CN 103412053 B

1. 一种基于双声发射传感阵列和波束形成的无需波速的声发射源定位方法,其特征在于:它包括下列步骤:

步骤一:在待监测的板状结构中沿长度和宽度方向各布置一声发射传感阵列,所述的声发射传感阵列包括4~8个声发射传感器;以长度方向声发射传感阵列方向作为X轴,以宽度方向声发射传感阵列作为Y轴,二者交点即为原点,建立坐标系;两声发射传感阵列中相邻传感器之间的间距均至少大于半个波长;

步骤二:将声发射信号检测系统中的声发射传感器通过前端放大器与声发射信号采集仪相连;

步骤三:接通电源,打开声发射信号采集仪,然后在待测板状结构上进行断铅实验,观察各通道波形是否正常显示;若正常则进行数据采集;

步骤四:分别对长度方向声发射传感阵列和宽度方向声发射传感阵列采集到的声发射信号进行波束形成;

步骤五:将长度方向声发射传感阵列确定的声发射源信号的X坐标作为定位出的声发射源水平坐标,将宽度方向声发射传感阵列确定的声发射源信号的Y坐标作为定位出的声发射源垂直坐标;

其中,在步骤一、三中所述的“板状结构”是指厚度明显小于长度和宽度的几何结构;

其中,在步骤一中所述的“声发射传感器”是压电谐振传感器;所述“声发射传感阵列”是由复数个声发射传感器组成的信号测试阵列,其排列方式为直线;

其中,在步骤二中所述的“声发射信号检测系统”由前端放大器、声发射信号采集仪、计算机组成;该前端放大器功能是对声发射传感器阵列测试到的声发射信号进行功率放大;该声发射信号采集仪是常规用的声发射测试仪器;

其中,在步骤三中所述的“断铅实验”,是采用直径为0.3mm的2H石墨铅笔芯,与待监测的板状结构表面呈30°左右夹角,倾斜折断;

其中,在步骤四中所述的“长度方向声发射传感阵列”,是沿待监测的板状结构的长度方向线性分布的一组传感器;“宽度方向声发射传感阵列”,是沿待监测的板状结构的宽度方向线性分布的一组传感器;“波束形成”是一种声发射源定位方法;

其中,在步骤五中所述的“长度方向声发射传感阵列”,是沿待监测的板状结构的长度方向线性分布的一组传感器;“宽度方向声发射传感阵列”,是沿待监测的板状结构的宽度方向线性分布的一组传感器。

一种基于双声发射传感阵列和波束形成的无需波速的声发射源定位方法

技术领域

[0001] 本发明提供一种基于双声发射传感阵列和波束形成的无需波速的声发射源定位方法,它涉及一种工程结构无损检测方法,尤其涉及一种不需要波速的声发射源定位方法,属于声发射无损检测技术领域。

技术背景

[0002] 各类装备广泛使用承载板或类板状(如壳体)结构,如飞机的机身、机翼和舱门、旋转翼飞机的机身和螺旋桨叶、舰船和潜艇的壳体、液体火箭燃料的储罐等。如果这类结构发生损伤将对装备整体性能产生不良影响,甚至导致灾难性的装备损毁和人员伤亡事故。工程中常用的各种无损检测方法均有其独特的应用领域和能够检测的敏感损伤类型,如磁粉检测受磁粉粒度的限制,只能检测具有一定开口宽度的表面裂纹;涡流方法只能检测表面和近表面损伤,对深埋裂纹不敏感;X射线的检测对象通常是体积型的损伤,且射线透照方向被检件的尺寸不能太大;超声回波方法既可以检测表面裂纹也可以检测深埋裂纹,但需要对结构进行扫描,检测效率较低,并且在检测闭合裂纹时可靠性不高。上述方法应用于板状结构损伤检测时均存在一定的局限性。这些方法均为局部无损检测方法,对大型结构,需要预先知道损伤的大概位置,或对结构的每一局部进行扫描,大多数情况下需要装备的某些功能停止运转,这对装备的维护来说是很不经济的。只能离线使用、检测过程过长的缺点导致这些方法不能满足突发事件后迅速查明结构状态、为维修保障及时提供决策依据的要求。因此,迫切需要发展新的无损检测理论和方法,以适应板状金属结构故障检测和预警的需求。

[0003] 声发射(Acoustic Emission,简称AE)是指材料局部因能量的快速释放而发出瞬态弹性波的现象。声发射信号来自于损伤本身,因此它携带有结构内部损伤发展的信息,利用一定的手段(如元件)将声发射源产生的弹性波转换为电信号,通过对这些电信号进行分析便可以获得与声发射源有关的信息,如部位、类型和严重程度等,实现结构的损伤检测。一般来说,结构中出现微观损伤但尚未形成宏观破坏之前,声发射现象就比较明显,因此,这种方法具有很高的检测灵敏度。与其他无损检测方法相比,声发射检测技术在动态损伤监测与定位等方面具有潜在的优势:信号来源于检测对象本身,适合作为一种动态评估方法对检测对象进行动态评估和实时诊断;声发射检测方法对检测对象的实用性较好,它对被检对象的接近要求不高,同时对对象的几何形状不敏感;检测的覆盖面广,在一次试验过程中,只需要布置足够数量的传感器,声发射检测就能够整体探测和评价整个结构中活性缺陷的状态。

[0004] 源定位技术是声发射技术研究的核心问题之一,其定位准确程度(也就是反映声源检测位置与真实位置的符合程度)是源定位技术的主要技术指标。目前,基于到达时间差定位声发射源是目前声发射定位的主要手段,在研究中也取得了良好的定位效果。但是时差定位法的定位精度在传播过程中会受到噪声、频散效应、能量衰减等因素影响,对到达

时间的要求较高,而且在二维或三维大中型结构中采用时差定位法一般需要将传感器稀疏布置,可能对实施造成不便。波束形成法是基于传声器阵列测量的一种阵列信号处理方法,在通讯、声纳、噪声源识别、雷达和地震勘探等领域应用广泛。波束形成法在通讯、噪声等目标源定位方面相对于时差定位法具有较大的优势,例如传感器布置方便,受信道衰减量的影响不大,可以同时多声源定位等。

[0005] 波束形成法原理如图 1 所示,采用由一组在空间固定位置上分布的传声器组成的阵列对空间声场进行测量,通过对每个固定位置上的传声器测得的信号进行处理,以获得详细的声源信息。

[0006] 当阵列聚焦到有限距离处的点声源时,入射声波为球面波,如图 1 所示。

[0007] 阵列输出:

$$[0008] \quad b(\vec{r}, t) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M w_m x_m(t - \Delta_m(\vec{r})) \quad (1)$$

[0009] 其中 M 是传感器的个数, w_m 是第 m 个传感器通道的加权系数, $x_m(t)$ 是第 m 个传感器测得的信号。 $\Delta_m(\vec{r})$ 为当聚焦到 \vec{r} 所在点时,第 m 个传感器相对于参考点的时延。对于目标源来说,信号在相加之前, $\Delta_m(\vec{r})$ 会使信号调整到同一波前,而聚焦到其它点时信号不会调整到同一波前。

[0010] 由图 1 中几何关系可得

$$[0011] \quad \Delta_m(\vec{r}) = \frac{|\vec{r}| - |\vec{r} - \vec{r}_m|}{c} \quad (2)$$

[0012] \vec{r} 为参考点到聚焦点位移, \vec{r}_m 是参考点到第 m 个传声器的位移, $|\vec{r}| - |\vec{r} - \vec{r}_m|$ 是参考点到聚焦点的距离与第 m 个传声器到聚焦点距离差, c 是声波传播速度。

[0013] 波束形成法在定位过程中假设结构中声发射波以一恒定速度传播,然而,由于受到频散、多模态、反射、衰减等方面的影响,波速会发生改变,从而直接影响声发射源定位精度。并且波束形成法在传感器阵列方向受速度变化的影响较小,定位精度较高,而在传感器垂直方向则定位精度较差。鉴于此,本发明提出了一种基于双声发射传感阵列和波束形成的无需波速的声发射源定位方法,相对于传统单一直线阵列,双阵列在阵列方向以及垂直阵列方向上均具有较高的定位精度,且易于安排传感器布局,并且允许采用较低的采样率,从而更加便捷、可靠和经济实用。

发明内容

[0014] 1、本发明的目的

[0015] 时差定位法是目前声发射源定位的主要方法,能对待测区域的声源进行较为准确的定位,但是受到衰减、频散等特性的影响,时差定位法对偏离中心区域的声源定位精度急剧下降,且时差定位法受到受速度误差的影响较大。为了解决这一问题,本发明提出一种基于双声发射传感阵列和波束形成的无需波速的声发射源定位方法。本方法设计采用双声发射传感阵列,利用波束形成这一信号处理方法,在无需波速的前提下,实现对结构损伤声发射源的准确定位。

[0016] 2、技术方案

[0017] 为了解决上述的技术问题,本发明一种基于双声发射传感阵列和波束形成的无需波速的声发射源定位方法,具体流程图如图 1 所示,包括下列步骤:

[0018] 步骤一:在待监测的板状结构中沿长度和宽度方向各布置一声发射传感阵列,所述的声发射传感阵列包括 4~8 个声发射传感器。可以任意布置坐标系,但本申请推荐以长度方向声发射传感阵列方向作为 X 轴,以宽度方向声发射传感阵列作为 Y 轴,二者交点即为原点,建立坐标系。两声发射传感阵列中相邻传感器之间的间距均至少大于半个波长;

[0019] 步骤二:将声发射信号检测系统中的声发射传感器通过前端放大器与声发射信号采集仪相连;

[0020] 步骤三:接通电源,打开声发射信号采集仪,然后在待测板状结构上进行断铅实验,观察各通道波形是否正常显示;若正常则进行数据采集;

[0021] 步骤四:分别对长度方向声发射传感阵列和宽度方向声发射传感阵列采集到的声发射信号进行波束形成;

[0022] 步骤五:将长度方向声发射传感阵列确定的声发射源信号的 X 坐标作为定位出的声发射源水平坐标,将宽度方向声发射传感阵列确定的声发射源信号的 Y 坐标作为定位出的声发射源垂直坐标。

[0023] 其中,在步骤一中所述的“板状结构”是指厚度明显小于长度和宽度的几何结构;“声发射传感器”是压电谐振传感器。声发射传感阵列是由若干个声发射传感器组成的信号测试阵列,其排列方式为直线;

[0024] 其中,在步骤二所述的“声发射信号检测系统”由前端放大器、声发射信号采集仪、计算机组成。所述前端放大器功能是对声发射传感器阵列测试到的声发射信号进行功率放大;所述声发射信号采集仪是常规用的声发射测试仪器。

[0025] 其中,在步骤三中所述的“断铅实验”,是采用直径为 0.3mm 或者 0.5mm 的 2H 石墨铅笔芯,与待监测的板状结构表面呈 30° 左右夹角,倾斜折断;

[0026] 其中,在步骤四中所述的“长度方向声发射传感阵列”,是沿待监测的板状结构的长度方向线性分布的一组传感器;“宽度方向声发射传感阵列”,是沿待监测的板状结构的宽度方向线性分布的一组传感器;“波束形成”是一种常规的声发射源定位方法;

[0027] 其中,在步骤五中所述的“长度方向声发射传感阵列”,是沿待监测的板状结构的长度方向线性分布的一组传感器;“宽度方向声发射传感阵列”,是沿待监测的板状结构的宽度方向线性分布的一组传感器。

[0028] 本发明的基本原理是:采用波束形成法对声发射源进行定位,其原理如图 1 所示。用于声发射源定位的波束形成法具有很强的指向性特征,沿着阵列方向对速度变化不敏感,具有很高的定位精度,而在阵列垂直方向则速度依赖性极强,定位精度很差。为此,我们基于这一特性,先在被测板状结构表面沿着水平和垂直方向各布置一均匀直线声发射传感阵列,并且以水平直线声发射传感阵列方向作为 X 轴,以垂直方向直线声发射传感阵列作为 Y 轴,二者交点即为原点,建立坐标系。通过这两列直线阵列能拾取到探测范围内的声发射源释放出的声发射信号。然后将两阵列测试到的信号分别用于波束形成。沿水平方向布置的均匀直线声发射传感阵列可以精确的定位出声发射源在传感器阵列坐标系中的 X 方向坐标;同时通过沿垂直方向布置的均匀直线声发射传感阵列可以精确的定位出声发射源在传感器阵列坐标系中的 Y 方向坐标。将二者结合,即为声发射源在传感器阵列坐标系中

的准确坐标。本发明方法克服了传统波束形成法对速度的依赖性，直接采用通过水平和垂直方向测试的信号分别进行波束形成，其定位过程无需波速，有利于推动声发射检测技术在结构损伤定位中的推广和应用。

[0029] 3、本发明的优点在于：

[0030] (1) 本发明实现方法简单，无需处理或计算信号中的声发射信号到达时刻等损伤特征参数就可以实现声发射源定位；

[0031] (2) 本发明方法由于无需波速，定位精度很高且稳定；

[0032] (3) 本发明方法克服了单一直线传感阵列波束形成对速度的依赖性，在阵列水平和垂直方向均对速度变化不敏感，具有很高的定位精度；

[0033] (4) 本发明方法可以实现对板状结构中声发射源的实时监测与定位；

[0034] (5) 本发明方法可以实现板状结构大区域声发射源定位。

附图说明

[0035] 通过阅读下面对本发明的示例性实施例的详细描述，同时结合附图考虑，本发明的上述实施例和其它实施例、目的、特性、优点、技术上和工业上的意义将更好理解，其中：

[0036] 图 1 为波束形成图

[0037] 图 2 为本发明所述方法之流程图

[0038] 图 3 为断铅实验示意图

[0039] 图 4 为图 3 中水平声发射传感阵列中一传感器采集到的声发射信号时域波形图

[0040] 图 5 为图 3 中垂直声发射传感阵列中一传感器采集到的声发射信号时域波形图

[0041] 图中序号、符号说明如下：

[0042] 1- 模拟声发射源位置，2- 水平方向直线传感阵列，3- 垂直方向直线传感阵列，4- 钢板，5- 前端放大器，6- 声发射信号采集仪，7- 计算机

具体实施方式

[0043] 在以下的描述中，将根据示例性实施例详细地描述本发明。

[0044] 如图 3 所示，其中待监测结构为各向均匀的钢板，尺寸为 $500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 5\text{mm}$ ，采用钢板上断铅的方式模拟声发射的发生。

[0045] 本实例包括以下步骤：

[0046] 如图 2 所示，即为本发明所述方法之流程图。以下各具体实施步骤均按照该图实施。

[0047] 步骤一：如图 3 所示，在待监测的钢板 4 中沿水平方向布置水平方向直线传感阵列 2，沿垂直方向布置垂直方向声发射传感阵列 3。所述的声发射传感阵列包括 4 ~ 8 个声发射传感器。以水平直线声发射传感阵列方向作为 X 轴，以垂直方向直线声发射传感阵列作为 Y 轴，二者交点即为原点，建立坐标系。两声发射传感阵列中相邻传感器之间的间距均至少大于半个波长。各声发射源坐标见表格 1

[0048] 表格 1 各声发射模拟源坐标

[0049]

1#		2#		3#		4#	
x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(m m)	x(m m)	y(m m)	x(m m)	y(m m)
-120	450	-120	210	-60	390	-60	270
5#		6#		7#		8#	
x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	x(mm)
60	390	60	270	120	450	120	210

[0050] 步骤二:将声发射信号检测系统中的声发射传感器通过前端放大器 5 与声发射信号采集仪 6 相连;

[0051] 步骤三:接通电源,打开计算机 7,设置采集软件相关参数,然后在待监测的钢板 4 上进行断铅实验。断铅位置位于图 3 所示的模拟声发射源位置 1。水平声发射传感阵列 2 和垂直声发射传感阵列 3 采集到的声发射信号经由前端放大器 5 进行功率放大后,传输到声发射信号采集仪 6;观察声发射信号采集仪 6 的各通道波形是否正常显示;若正常则进行数据采集;图 4 和图 5 分别是水平声发射传感阵列中一传感器采集到的声发射信号时域波形图以及垂直声发射传感阵列中一传感器采集到的声发射信号时域波形图;

[0052] 步骤四:按照图 1 所示的波束形成法分别对水平方向直线传感阵列 1 和垂直方向声发射传感阵列 2 采集到的声发射信号进行波束形成;

[0053] 步骤五:将水平方向直线传感阵列 1 确定的声发射源信号的 X 坐标作为定位出的声发射源水平坐标,将垂直方向声发射传感阵列 2 的 Y 坐标作为定位出的声发射源垂直坐标,各声发射源定位结果如表格 2 所示;

[0054] 其中,在步骤一中所述的“板状结构”是指厚度明显小于长度和宽度的几何结构;“声发射传感器”是压电谐振传感器。声发射传感阵列是由若干个声发射传感器组成的信号测试阵列,其排列方式为直线;

[0055] 其中,在步骤二中所述的“声发射信号检测系统”由前端放大器、声发射信号采集仪、计算机组成。所述前端放大器功能是对声发射传感器阵列测试到的声发射信号进行功率放大;所述声发射信号采集仪是常规用的声发射测试仪器。

[0056] 其中,在步骤三中所述的“断铅实验”,是采用直径为 0.3mm 或者 0.5mm 的 2H 石墨铅笔芯,与待监测的板状结构表面呈 30° 左右夹角,倾斜折断;

[0057] 其中,在步骤四中所述的“长度方向声发射传感阵列”,是沿待监测的板状结构的长度方向线性分布的一组传感器;“宽度方向声发射传感阵列”,是沿待监测的板状结构的宽度方向线性分布的一组传感器;“波束形成”是一种本技术领域常规的声发射源定位方法;

[0058] 其中,在步骤五中所述的“长度方向声发射传感阵列”,是沿待监测的板状结构的长度方向线性分布的一组传感器;“宽度方向声发射传感阵列”,是沿待监测的板状结构的宽度方向线性分布的一组传感器。

[0059] 表格 2 各声发射源定位结果

[0060]

声发射源 定位速度	1#		2#		3#		4#	
	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)
	-120	450	-120	210	-60	390	-60	270

[0061]

2000	-120	410	-130	250	0	330	-90	270
2500	-140	410	-120	210	-60	330	-90	270
3000	-140	450	-140	210	-60	390	-90	270
3500	-140	450	-140	210	-60	390	-90	300
4000	-140	450	-90	230	-60	390	-90	300

声发射源 定位速度	5#		6#		7#		8#	
	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	y(mm)	x(mm)	x(mm)
	60	390	60	270	120	450	120	210
2000	10	390	30	290	120	450	130	210
2500	60	420	60	290	120	460	130	210
3000	60	420	60	290	120	460	120	210
3500	60	420	60	260	120	460	120	210
4000	60	420	60	260	120	460	120	210

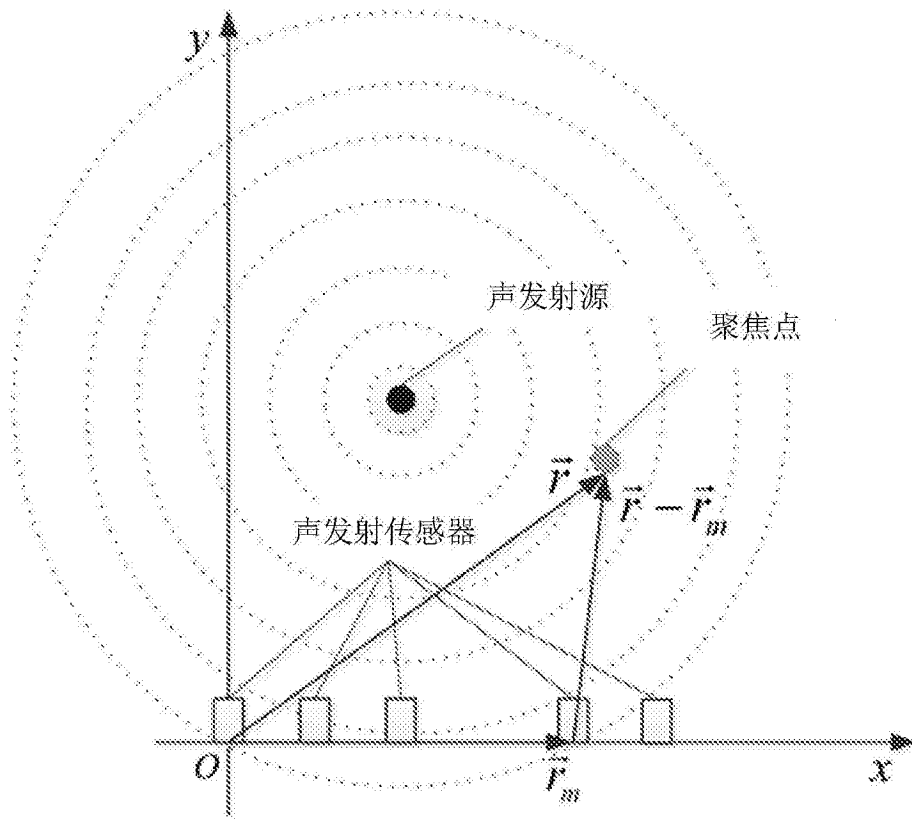


图 1

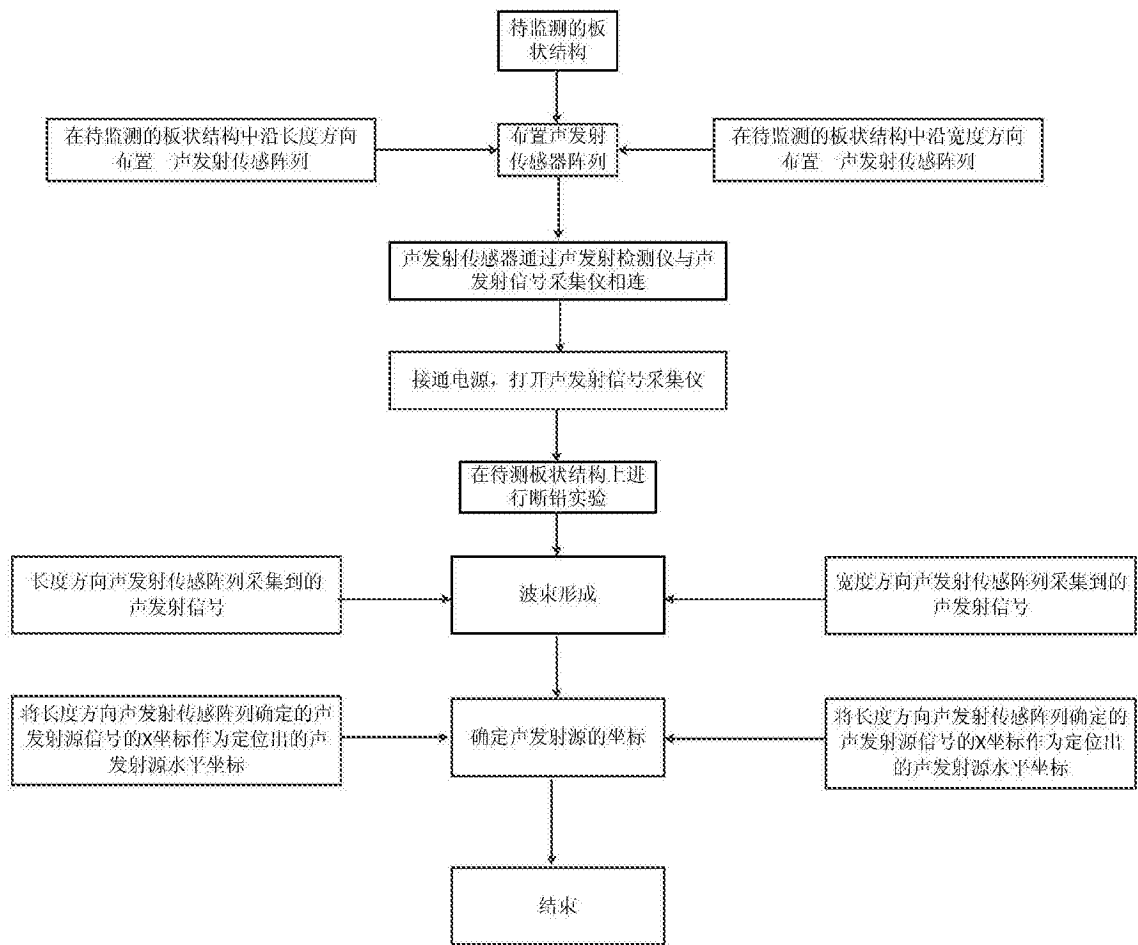


图 2

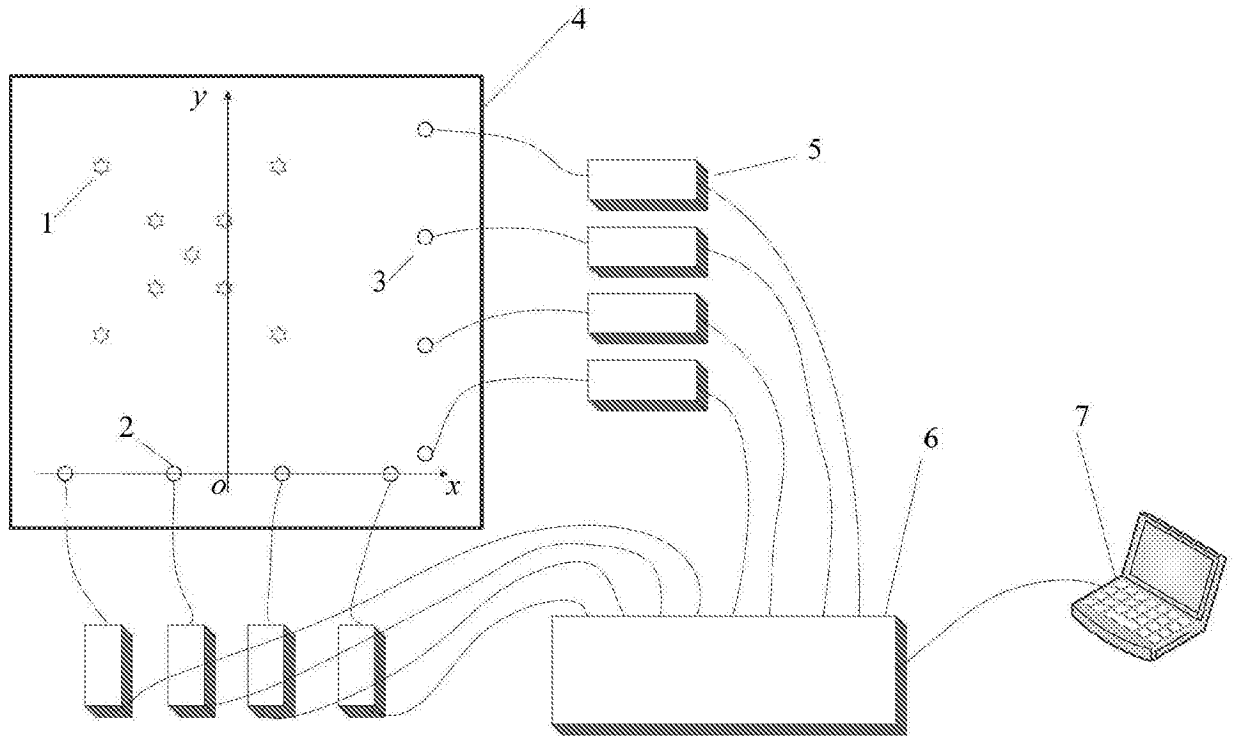


图 3

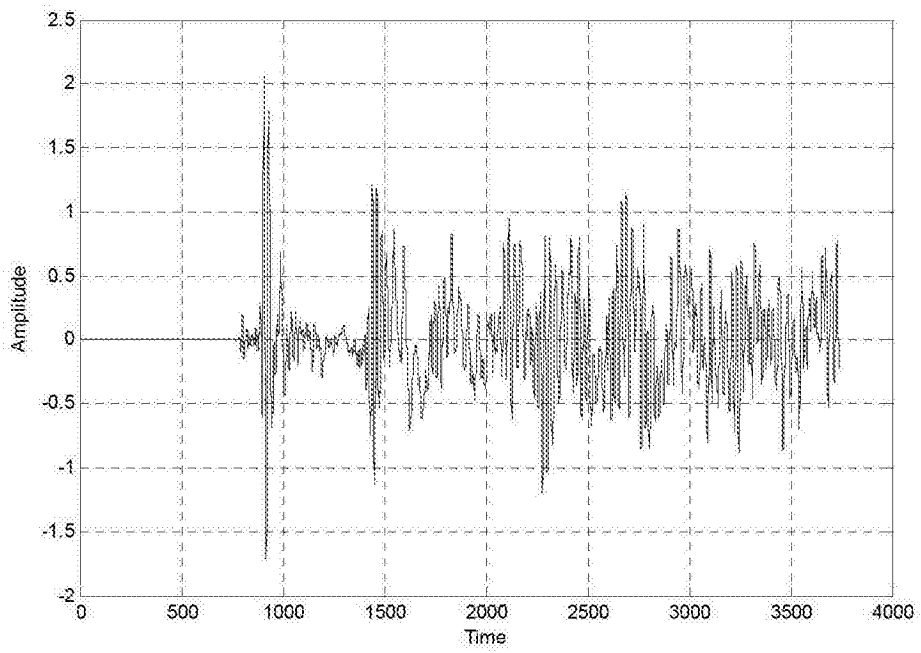


图 4

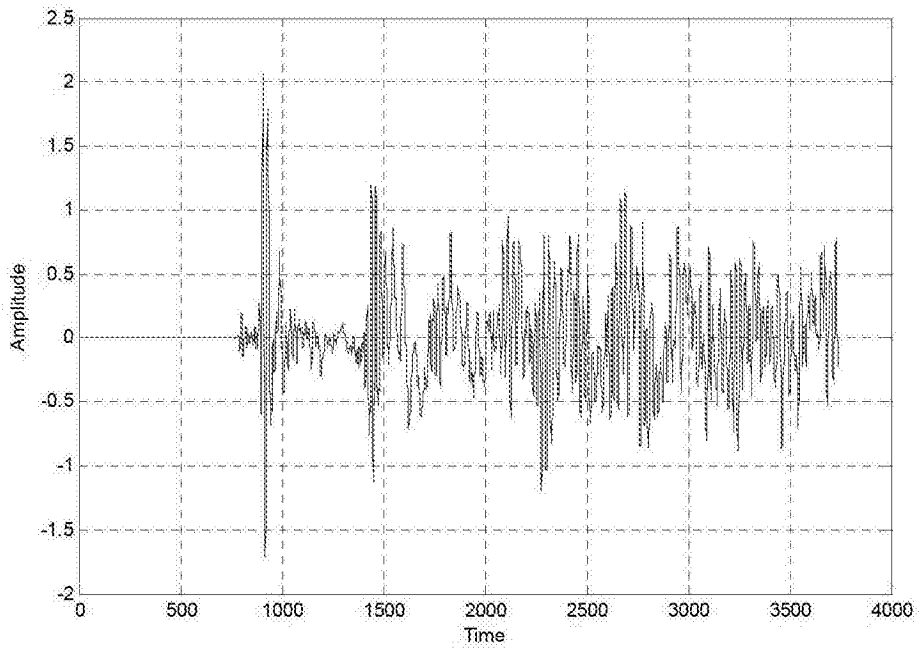


图 5