



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110646513 B

(45) 授权公告日 2021. 11. 12

(21) 申请号 201910987926.7

(22) 申请日 2019.10.17

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110646513 A

(43) 申请公布日 2020.01.03

(73) 专利权人 重庆大学  
地址 400044 重庆市沙坪坝区沙正街174号  
专利权人 中国石油化工股份有限公司青岛  
安全工程研究院

(72) 发明人 杨进 沈子莹 白永忠 屈定荣  
邱枫 黄贤滨

(74) 专利代理机构 重庆乾乙律师事务所 50235  
代理人 侯懋琪 侯春乐

(51) Int. Cl.  
G01N 29/07 (2006.01)  
G01N 29/14 (2006.01)  
G01N 29/24 (2006.01)  
G01N 29/34 (2006.01)  
G01N 29/44 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 109187741 A, 2019.01.11
- CN 108844963 A, 2018.11.20
- CN 102778507 A, 2012.11.14
- CN 102539528 A, 2012.07.04
- CN 106066365 A, 2016.11.02
- US 2015053009 A1, 2015.02.26
- US 2016109412 A1, 2016.04.21
- US 2016123864 A1, 2016.05.05
- CN 104597126 A, 2015.05.06
- CN 104965023 A, 2015.10.07
- CN 102818847 A, 2012.12.12
- CN 104880511 A, 2015.09.02

Premesh S.Lowe et al..Structural Health Monitoring of Above-Ground Storage Tank Floors by Ultrasonic Guided Wave Excitation on the Tank Wall.《Sensors》.2017,第17卷

王强等.主动Lamb波合成波阵面损伤成像监测方法.《仪器仪表学报》.2011,第32卷(第11期),

审查员 李重阳

权利要求书2页 说明书6页 附图2页

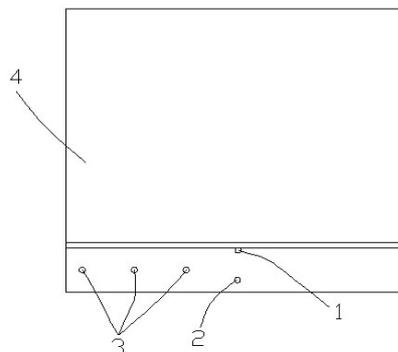
(54) 发明名称

基于导波组合激励的结构体底板健康状态检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于导波组合激励的结构体底板健康状态检测方法,包括:将3个接收装置等间距布置在壁板外侧的底板上侧面上,将第一激励装置和第二激励装置分别布置在第一激励点和第二激励点位置处;检测时,先控制第一激励装置和第二激励装置同时输出扫频激励信号得到参考信号,再控制第一激励装置和第二激励装置同时输出第二激励信号,得到检测信号,将参考信号的波包与检测信号的波包进行比对,得到检测波包,然后对检测波包进行处理定位出缺陷位置;本发明的有益技术效果是:提出了一

种基于导波组合激励的结构体底板健康状态检测方法,该检测方法能够对反馈信号起到增强作用,提高信号质量。



CN 110646513 B

1. 一种基于导波组合激励的结构体底板健康状态检测方法,所述结构体包括底板和壁板,壁板下端与底板上端面焊接固定;所采用的检测装置包括第一激励装置(1)、第二激励装置(2)、至少3个接收装置(3)、激励源和处理装置;所述第一激励装置(1)和第二激励装置(2)均与激励源电气连接,接收装置(3)与处理装置电气连接;其特征在于:所述结构体底板健康状态检测方法包括:

1) 硬件布置:将平行于底板上侧面且平行于壁板外侧面的方向记为A方向;将接收装置(3)布置在底板上侧面上,接收装置(3)位于壁板的外侧,接收装置(3)与壁板之间留有间隙,3个接收装置(3)沿A方向等间距分布,相邻接收装置(3)之间的间距为50mm;将第一激励装置(1)布置在底板上侧面上,第一激励装置(1)位于壁板的外侧;3个接收装置(3)中与第一激励装置(1)相距最近的接收装置(3)记为1#接收装置,1#接收装置和第一激励装置(1)在A方向上的间距为50mm;将第二激励装置(2)布置在壁板上,第二激励装置(2)与底板之间的垂线记为第二垂线,第一激励装置(1)与壁板之间的垂线记为第一垂线,第二垂线和第一垂线相交;

2) 位置调试:先对第一激励装置(1)进行位置调试,然后再对第二激励装置(2)进行位置调试;

对第一激励装置(1)进行位置调试时:通过多次操作,使第一激励装置(1)位于第一垂线上的不同位置;当第一激励装置(1)位于第一垂线上某一位置时,控制第一激励装置(1)施加第一激励信号,接收装置(3)将采集到的调试信号输出至处理装置,处理装置对调试信号进行处理获得相应的1#幅值;多次操作后,得到对应第一垂线上多个位置的多个1#幅值,对多个1#幅值的大小进行比较,将多个1#幅值中最大值所对应的位置作为第一激励点,将第一激励装置(1)设置在第一激励点位置处;

对第二激励装置(2)进行位置调试时:通过多次操作,使第二激励装置(2)位于第二垂线上的不同位置;当第二激励装置(2)位于第二垂线上某一位置时,控制第一激励装置(1)和第二激励装置(2)同时施加第一激励信号,接收装置(3)将采集到的调试信号输出至处理装置,处理装置对调试信号进行处理获得相应的2#幅值;多次操作后,得到对应第二垂线上多个位置的多个2#幅值,对多个2#幅值的大小进行比较,将多个2#幅值中最大值所对应的位置作为第二激励点,将第二激励装置(2)设置在第二激励点位置处;

所述第一激励信号是以140kHz为中心频率的、汉宁窗调幅的5周期正弦调幅脉冲;

3) 健康状态检测:控制第一激励装置(1)和第二激励装置(2)同时输出扫频激励信号,接收装置(3)将采集到的参考信号输出至处理装置;处理装置收到参考信号后,对参考信号进行希尔伯特变换,得到相应的能量分布,然后为参考信号中的各个波包绘制能量变化趋势图,绘制能量变化趋势图时,以10kHz为增量步;然后对能量变化趋势图进行识别,找出能量不断减小的波包;将找到的波包记为参考波包;

然后,控制第一激励装置(1)和第二激励装置(2)同时输出第二激励信号,接收装置(3)将采集到的检测信号输出至处理装置,处理装置收到检测信号后,技术人员将检测信号的波包与参考波包进行比对,将检测信号中与参考波包相同的波包剔除,如检测信号中还有未被剔除的波包,将未被剔除的波包记为检测波包,则继续采用基于信号到达时间差TDOA的双曲线定位算法对3个接收装置(3)各自最先收到的检测波包进行处理,根据处理结果定位出缺陷位置;

所述扫频激励信号是频率在200 $\mu$ s窗口内从100kHz扫描到260kHz的正弦信号;所述第二激励信号是以250kHz为中心频率的、汉宁窗调幅的5周期正弦调幅脉冲。

2. 根据权利要求1所述的基于导波组合激励的结构体底板健康状态检测方法,其特征在于:步骤3)的操作完成后,使第一激励装置(1)、第二激励装置(2)和接收装置(3)整体在A方向上移动50mm,然后重复步骤3)的操作,对底板的不同部位进行检测。

3. 根据权利要求1或2所述的基于导波组合激励的结构体底板健康状态检测方法,其特征在于:所述第一激励装置(1)采用声发射传感器实现,所述第二激励装置(2)采用声发射传感器实现,所述接收装置(3)采用压电陶瓷传感器实现。

4. 根据权利要求1或2所述的基于导波组合激励的结构体底板健康状态检测方法,其特征在于:将底板裸露在壁板外侧的部分记为裸露段,将平行于底板上侧面且垂直于壁板外侧面的方向记为裸露段的横向;接收装置(3)位于裸露段的横向中部。

## 基于导波组合激励的结构体底板健康状态检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种结构体无损检测技术,尤其涉及一种基于导波组合激励的结构体底板健康状态检测方法。

### 背景技术

[0002] 大型建筑结构或工业现场设备,在使用过程中,不可避免地会在环境侵蚀、结构老化、疲劳效应等多种不利因素作用下,产生结构性损伤,因此,通过相应技术手段来对结构中潜在的损伤状况进行检测势在必行。

[0003] 无损检测技术能够在不影响结构完整性和结构健康状态的条件下,实现结构损伤探测。传统的无损检测技术主要包括:声发射法、电涡流检测法、X射线法、超声波检测法、红外和全息照相法等,然而这些技术大多存在设备昂贵、体积庞大、实施难度较大的缺点。

[0004] 基于超声导波的结构健康监测技术(SHM)是一种较好的无损检测技术,但在实施时,仍然存在一些局限性,这些局限性主要体现在:

[0005] 对于大型罐体类或箱体类结构(如大型储液罐、列车车厢、大型冷藏柜等),其边沿的结构状态往往较为复杂,存在大量支撑结构和焊缝;超声导波在固体结构中传播时,如果遇到障碍物或物理边界,会发生反射、散射现象,结构边沿存在的大量支撑结构和焊缝会使超声导波在相应区域频繁地反射和散射,获取到的Lamb信号能量会大幅衰减,导致处理困难甚至无法处理;另外,超声导波检测所需的激励和接收装置布设也是一个问题,比如使用中的储罐,一般不太可能在其内部布置激励和接收装置,相应装置只能布置在外部,这也给高质量反馈信号获取带来了较大困难。

### 发明内容

[0006] 针对背景技术中的问题,发明人开展了大量研究和试验:

[0007] 为了模拟大型罐体类或箱体类结构的局部区域,将两块金属板焊接在一起,其中一块金属板充当壁板,另一块金属板充当底板,壁板下端与底板上端面焊接固定;壁板将底板分为两个区域,假设面积较大那个区域位于结构体的内部,面积较小那个区域为底板裸露在壁板外的裸露段;由于实际情况中难以在结构内部布置激励装置,因此将激励装置布置在结构的外部;考虑到实际检测条件,本应该将接收装置也布置在结构的外部,但裸露段面积相对较小,不便于操作,同时,也考虑到试验仅是为了检测不同激励方式对反馈信号的影响,因此将多个接收装置布置在壁板内侧的底板上;

[0008] 初步试验时,采用两种常规布置方式布置激励装置,其一,在壁板的外侧面上设置激励装置(简称壁板激励),其二,在裸露段的上侧面设置激励装置(简称底板激励);此外,为了避免边界回波对接收信号的影响,激励装置均布置在相应结构体的中心线上(试验过程中,由于金属板尺寸有限,如果激励装置太靠近中心线一侧的金属板边沿,就会引起边界回波,实际情况中,由于结构体尺寸较大,则不必将激励装置均布置在中心线上);考虑到超声导波在平面上以圆形方式传播,为避免接收装置距离差异对检测结果造成影响,因此,将

多个接收装置布置在以激励装置与焊缝的垂线交点为圆心的圆上,各个接收装置与圆心的连线与壁板的夹角分别为 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 和 $90^\circ$ ;

[0009] 开始试验后,先在底板激励条件下进行试验,控制激励装置施加激励信号,通过多个接收装置接收反馈信号,然后,改变激励装置在第一垂线上的位置,重新进行激励并获取相应的反馈信号,经多次试验发现,对单个接收装置而言,激励装置位于第一垂线上不同位置时,相应接收装置接收到的信号效果各不相同;

[0010] 然后在壁板激励条件下进行试验,控制激励装置施加激励信号,通过多个接收装置接收反馈信号,然后,改变激励装置在第二垂线上的位置,重新进行激励并获取相应的反馈信号,多次试验的结果与底板激励条件下的试验结果相似,即对单个接收装置而言,激励装置位于第二垂线上不同位置时,相应接收装置接收到的信号效果各不相同,并且总的来看,由于焊缝对导波信号的衰减作用,单独采用壁板激励或底板激励所得到的反馈信号,效果都不太理想,于是发明人考虑能否同时在壁板和底板上施加激励信号,通过调节激励点的位置,使两处激励信号的第一个A模态波包到达焊缝时的相位差为0,使得来自于壁板和底板的两个激励信号在焊缝位置发生叠加,从而使传播到底板上的导波能量得到增强并最终使反馈信号的效果得到提高,于是发明人又进行了如下的试验:

[0011] 在壁板的外侧面和裸露段的上侧面同时设置激励装置(简称组合激励),两个激励装置仍然位于相应结构体的中心线上,将设置在底板上的激励装置记为第一激励装置,将设置在壁板上的激励装置记为第二激励装置;为了避免出现频率混乱,以及考虑到结构体对超声导波的响应效果,两个激励装置输出的激励信号均是以140kHz为中心频率的、汉宁窗调幅的5周期正弦调幅脉冲;另外,通过对壁板激励和底板激励的试验数据进行对比分析,发现,底板激励时,激励装置位置的改变对信号幅度和波形的影响相对较大,壁板激励时,激励装置位置的改变对信号幅度和波形的影响相对较小,于是决定在组合激励试验时,先对第一激励装置的位置进行独立调节,然后再对第二激励装置的位置进行调节;试验开始后,使第一激励装置处于第一垂线上的某一位置,然后控制第一激励装置施加激励信号并获取相应的反馈信号,通过多次测试,找到后文所提到的第一激励点,并将第一激励装置设置在第一激励点位置处;然后,再使第二激励装置位于第二垂线上的不同位置并获取相应的反馈信号(与第一激励装置位置调节过程不同的是,第二激励装置位置调节时获取到的反馈信号是由两个激励装置同时激励所得到的),通过多次测试,找到后文所述的第二激励点,试验结果表明,当第一激励装置和第二激励装置分别位于第一激励点和第二激励点位置时,反馈信号得到了大幅增强,部分试验数据的对比情况如下表所示:

激励方式	接收装置输出信号波形峰-峰值 (mV)			
	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=60^\circ$	$\theta=90^\circ$
底板激励	41.6	185	137	116
壁板激励	38.1	84.8	73.6	104
组合激励	49.0	304	262	233

[0013] 其中, $\theta$ 为接收装置与圆心的连线与壁板的夹角;

[0014] 由上表可见,相比单独的底板激励或壁板激励,采用组合激励可使不同位置处的接收信号幅值都得到提高,尤其是在 $\theta$ 为 $45^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 的区域,信号幅值提升十分明显;后经分析发现,由于焊缝存在一定宽度,夹角越小,超声导波在相应方向上传播时,需要穿越更长距离的焊缝区域才能到达接收装置,因此 $\theta$ 为 $0^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 的区域衰减得更加严重。

[0015] 之后,发明人用磁铁吸附在底板底部模拟损伤并进行了相关试验,试验过程与后文所述方案大致相似,在此不再赘述,试验结果证明,采用组合激励方式时,由于传播到底板上的导波能量得到明显增强,反馈信号的效果较好,通过人工识别方式将焊缝反射的信号从检测信号中剔除后,采用现有的双曲线定位法可以准确地定位出损伤位置,于是本发明提出如下的技术方案:

[0016] 一种基于导波组合激励的结构体底板健康状态检测方法,所述结构体包括底板和壁板,壁板下端与底板上端面焊接固定;所采用的检测装置包括第一激励装置、第二激励装置、至少3个接收装置、激励源和处理装置;所述第一激励装置和第二激励装置均与激励源电气连接,接收装置与处理装置电气连接;其创新在于:所述结构体底板健康状态检测方法包括:

[0017] 1) 硬件布置:将平行于底板上侧面且平行于壁板外侧面的方向记为A方向;将接收装置布置在底板上侧面上,接收装置位于壁板的外侧,接收装置与壁板之间留有间隙,3个接收装置沿A方向等间距分布,相邻接收装置之间的间距为50mm;将第一激励装置布置在底板上侧面上,第一激励装置位于壁板的外侧;3个接收装置中与第一激励装置相距最近的接收装置记为1#接收装置,1#接收装置和第一激励装置在A方向上的间距为50mm;将第二激励装置布置在壁板上,第二激励装置与底板之间的垂线记为第二垂线,第一激励装置与壁板之间的垂线记为第一垂线,第二垂线和第一垂线相交;

[0018] 2) 位置调试:先对第一激励装置进行位置调试,然后再对第二激励装置进行位置调试;

[0019] 对第一激励装置进行位置调试时:通过多次操作,使第一激励装置位于第一垂线上的不同位置;当第一激励装置位于第一垂线上某一位置时,控制第一激励装置施加第一激励信号,接收装置将采集到的调试信号输出至处理装置,处理装置对调试信号进行处理获得相应的1#幅值;多次操作后,得到对应第一垂线上多个位置的多个1#幅值,对多个1#幅值的大小进行比较,将多个1#幅值中最大值所对应的位置作为第一激励点,将第一激励装置设置在第一激励点位置处;

[0020] 对第二激励装置进行位置调试时:通过多次操作,使第二激励装置位于第二垂线上的不同位置;当第二激励装置位于第二垂线上某一位置时,控制第一激励装置和第二激励装置同时施加第一激励信号,接收装置将采集到的调试信号输出至处理装置,处理装置对调试信号进行处理获得相应的2#幅值;多次操作后,得到对应第二垂线上多个位置的多个2#幅值,对多个2#幅值的大小进行比较,将多个2#幅值中最大值所对应的位置作为第二激励点,将第二激励装置设置在第二激励点位置处;

[0021] 所述第一激励信号是以140kHz为中心频率的、汉宁窗调幅的5周期正弦调幅脉冲;

[0022] 3) 健康状态检测:控制第一激励装置和第二激励装置同时输出扫频激励信号,接收装置将采集到的参考信号输出至处理装置;处理装置收到参考信号后,对参考信号进行

希尔伯特变换,得到相应的能量分布,然后为参考信号中的各个波包绘制能量变化趋势图,绘制能量变化趋势图时,以10kHz为增量步;然后对能量变化趋势图进行识别(识别操作由人工完成),找出能量不断减小的波包;将找到的波包记为参考波包;

[0023] 然后,控制第一激励装置和第二激励装置同时输出第二激励信号,接收装置将采集到的检测信号输出至处理装置,处理装置收到检测信号后,技术人员将检测信号的波包与参考波包进行比对,将检测信号中与参考波包相同的波包剔除,如检测信号中还有未被剔除的波包,将未被剔除的波包记为检测波包,则继续采用基于信号到达时间差TDOA的双曲线定位算法对3个接收装置各自最先收到的检测波包进行处理,根据处理结果定位出缺陷位置;

[0024] 所述扫频激励信号是频率在200 $\mu$ s窗口内从100kHz扫描到260kHz的正弦信号;所述第二激励信号是以250kHz为中心频率的、汉宁窗调幅的5周期正弦调幅脉冲。

[0025] 基于现有理论可知,激励频率较低时,焊缝反射信号的能量更高,随着激励频率的提高,缺陷反射、散射的信号能量会逐渐增加;由于步骤2)的目的仅是为了确定信号幅值最大的第一激励点和第二激励点,为了排除缺陷反射、散射的干扰,提高操作效率,故第一激励信号采用140kHz中心频率;步骤3)中,为了提高信号识别的全面性,故用从100kHz扫描到260kHz的正弦信号来获取参考信号,此外,由于最终的目的是为了实现缺陷定位,因此第二激励信号采用250kHz中心频率,以增加缺陷反射、散射的信号能量;

[0026] 优选地,步骤3)的操作完成后,使第一激励装置、第二激励装置和接收装置整体在A方向上移动50mm,然后重复步骤3)的操作,对底板的不同部位进行检测。由于单次检测操作所覆盖的区域范围有限,因此提出此优选方案,通过整体移动检测装置,实现对不同区域的检测;另外,前文述及了“ $\theta$ 为45°~90°的区域,信号幅值提升十分明显”,结合超声导波的衰减距离,每次平移的距离为50mm,才能既避免漏检区域的出现,又避免相邻检测区域重叠;

[0027] 优选地,所述第一激励装置采用声发射传感器实现,所述第二激励装置采用声发射传感器实现,所述接收装置采用压电陶瓷传感器实现。

[0028] 优选地,将底板裸露在壁板外侧的部分记为裸露段,将平行于底板上侧面且垂直于壁板外侧面的方向记为裸露段的横向;接收装置位于裸露段的横向中部。发明人在试验过程中发现,按此优选方案设置接收装置,接收效果最好。

[0029] 本发明的有益技术效果是:提出了一种基于导波组合激励的结构体底板健康状态检测方法,该检测方法能够对反馈信号起到增强作用,提高信号质量。

## 附图说明

[0030] 图1、底板和壁板结构示意图;

[0031] 图2、试验过程中激励装置和接收装置的布置位置示意图(俯视);

[0032] 图3、实际检测时激励装置和接收装置的布置位置示意图(俯视);

[0033] 图中各个标记所对应的名称分别为:第一激励装置1、第二激励装置2、接收装置3、底板4、壁板5、焊缝6。

## 具体实施方式

[0034] 一种基于导波组合激励的结构体底板健康状态检测方法,所述结构体包括底板和壁板,壁板下端与底板上端面焊接固定;所采用的检测装置包括第一激励装置1、第二激励装置2、至少3个接收装置3、激励源和处理装置;所述第一激励装置1和第二激励装置2均与激励源电气连接,接收装置3与处理装置电气连接;其创新在于:所述结构体底板健康状态检测方法包括:

[0035] 1) 硬件布置:将平行于底板上侧面且平行于壁板外侧面的方向记为A方向;将接收装置3布置在底板上侧面上,接收装置3位于壁板的外侧,接收装置3与壁板之间留有间隙,3个接收装置3沿A方向等间距分布,相邻接收装置3之间的间距为50mm;将第一激励装置1布置在底板上侧面上,第一激励装置1位于壁板的外侧;3个接收装置3中与第一激励装置1相距最近的接收装置3记为1#接收装置,1#接收装置和第一激励装置1在A方向上的间距为50mm;将第二激励装置2布置在壁板上,第二激励装置2与底板之间的垂线记为第二垂线,第一激励装置1与壁板之间的垂线记为第一垂线,第二垂线和第一垂线相交;

[0036] 2) 位置调试:先对第一激励装置1进行位置调试,然后再对第二激励装置2进行位置调试;

[0037] 对第一激励装置1进行位置调试时:通过多次操作,使第一激励装置1位于第一垂线上的不同位置;当第一激励装置1位于第一垂线上某一位置时,控制第一激励装置1施加第一激励信号,接收装置3将采集到的调试信号输出至处理装置,处理装置对调试信号进行处理获得相应的1#幅值;多次操作后,得到对应第一垂线上多个位置的多个1#幅值,对多个1#幅值的大小进行比较,将多个1#幅值中最大值所对应的位置作为第一激励点,将第一激励装置1设置在第一激励点位置处;

[0038] 对第二激励装置2进行位置调试时:通过多次操作,使第二激励装置2位于第二垂线上的不同位置;当第二激励装置2位于第二垂线上某一位置时,控制第一激励装置1和第二激励装置2同时施加第一激励信号,接收装置3将采集到的调试信号输出至处理装置,处理装置对调试信号进行处理获得相应的2#幅值;多次操作后,得到对应第二垂线上多个位置的多个2#幅值,对多个2#幅值的大小进行比较,将多个2#幅值中最大值所对应的位置作为第二激励点,将第二激励装置2设置在第二激励点位置处;

[0039] 所述第一激励信号是以140kHz为中心频率的、汉宁窗调幅的5周期正弦调幅脉冲;

[0040] 3) 健康状态检测:控制第一激励装置1和第二激励装置2同时输出扫频激励信号,接收装置3将采集到的参考信号输出至处理装置;处理装置收到参考信号后,对参考信号进行希尔伯特变换,得到相应的能量分布,然后为参考信号中的各个波包绘制能量变化趋势图,绘制能量变化趋势图时,以10kHz为增量步;然后对能量变化趋势图进行识别,找出能量不断减小的波包;将找到的波包记为参考波包;

[0041] 然后,控制第一激励装置1和第二激励装置2同时输出第二激励信号,接收装置3将采集到的检测信号输出至处理装置,处理装置收到检测信号后,技术人员将检测信号的波包与参考波包进行比对,将检测信号中与参考波包相同的波包剔除,如检测信号中还有未被剔除的波包,将未被剔除的波包记为检测波包,则继续采用基于信号到达时间差TDOA的双曲线定位算法对3个接收装置3各自最先收到的检测波包进行处理,根据处理结果定位出缺陷位置;

[0042] 所述扫频激励信号是频率在 $200\mu\text{s}$ 窗口内从 $100\text{kHz}$ 扫描到 $260\text{kHz}$ 的正弦信号;所述第二激励信号是以 $250\text{kHz}$ 为中心频率的、汉宁窗调幅的5周期正弦调幅脉冲。

[0043] 进一步地,步骤3)的操作完成后,使第一激励装置1、第二激励装置2和接收装置3整体在A方向上移动 $50\text{mm}$ ,然后重复步骤3)的操作,对底板的不同部位进行检测。

[0044] 进一步地,所述第一激励装置1采用声发射传感器实现,所述第二激励装置2采用声发射传感器实现,所述接收装置3采用压电陶瓷传感器实现。

[0045] 进一步地,将底板裸露在壁板外侧的部分记为裸露段,将平行于底板上侧面且垂直于壁板外侧面的方向记为裸露段的横向;接收装置3位于裸露段的横向中部。

[0046] 3个接收装置3是实现双曲线定位的最低条件,具体实施时,为了提高定位精度,可以使接收装置3的数量为3个以上,然后从多个接收装置3中的每两两接收装置多次进行双曲线定位处理,通过多次双曲线定位处理提高定位的精度。

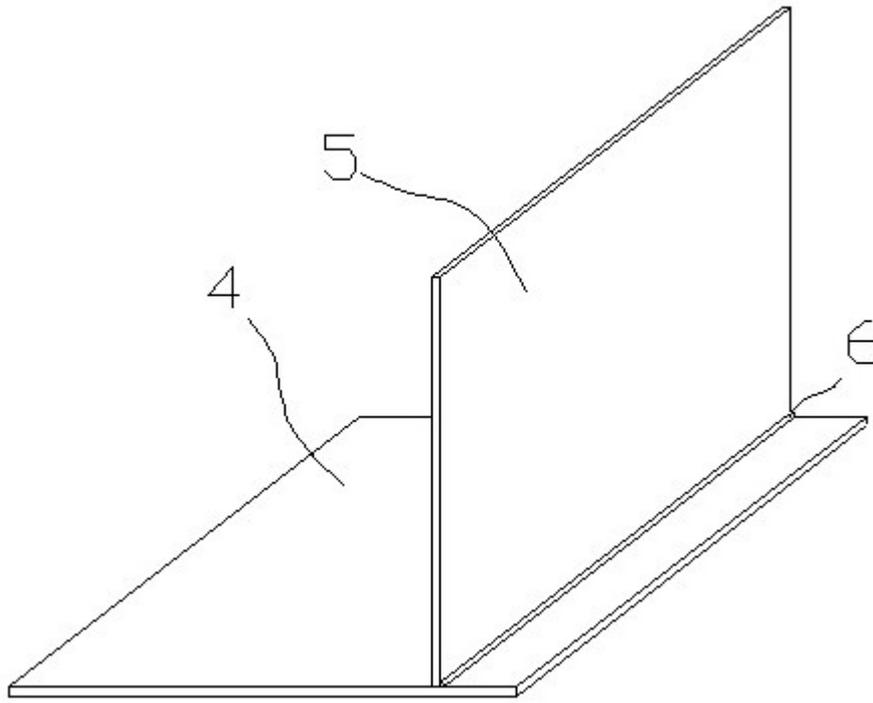


图1

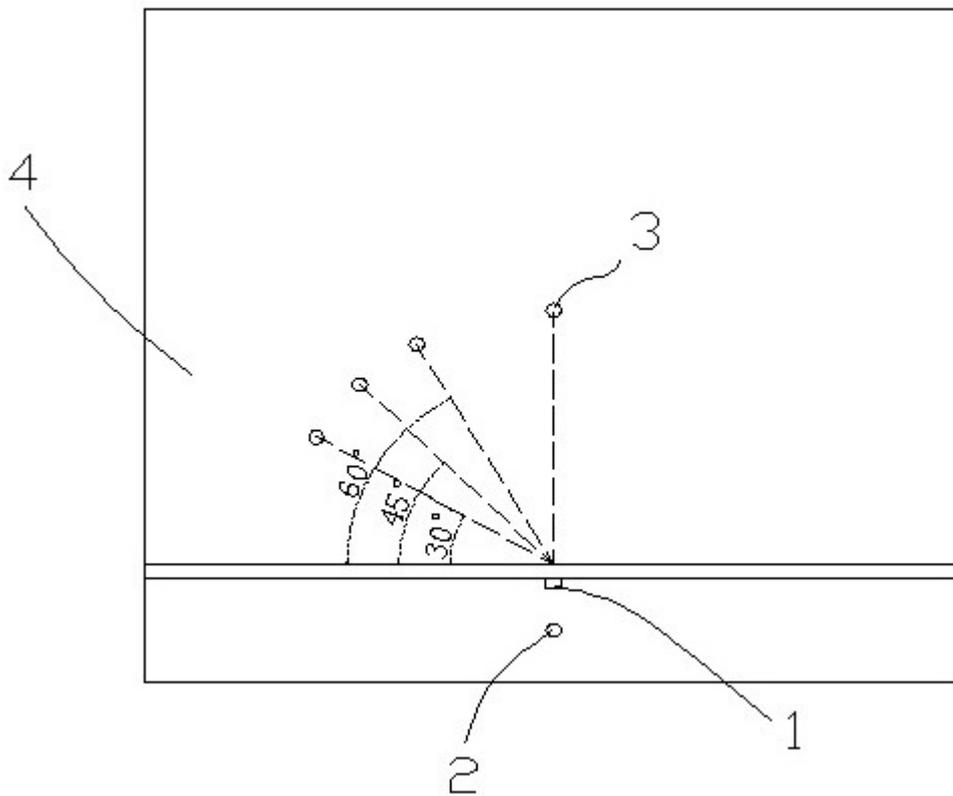


图2

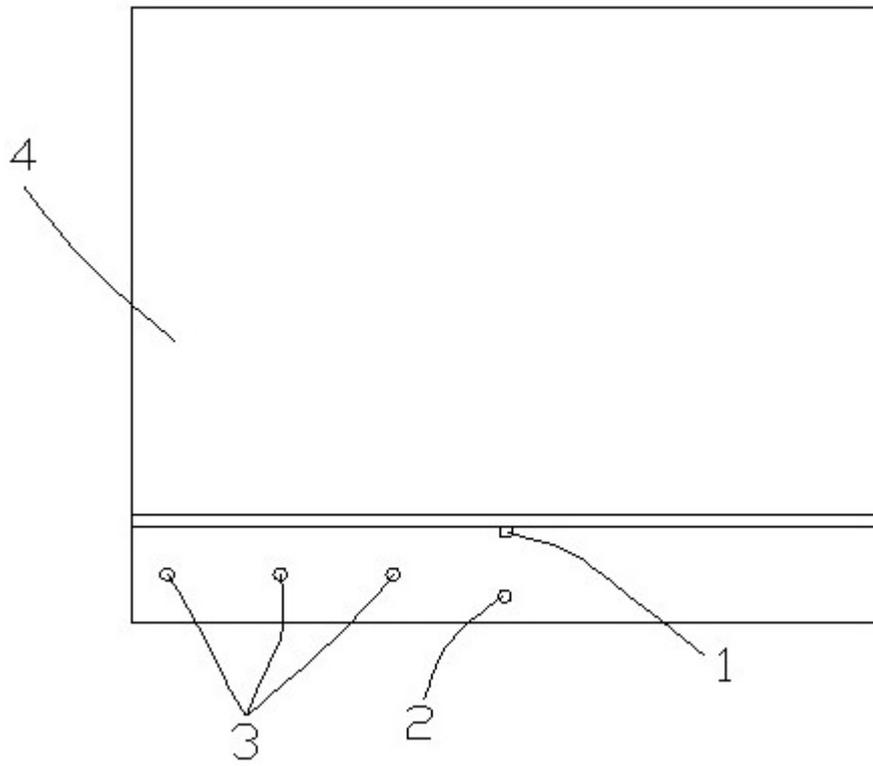


图3