



Lamb 波相控阵结构健康监测成像技术

摘要

在分析相控阵波束指向的控制过程与介绍相控阵结构健康监测原理的基础上,利用相控阵原理控制 Lamb 波的时间延迟使其在结构损伤处聚焦.通过比较结构健康状态与损伤状态的传感器响应信号,获取 Lamb 波损伤散射信号;采用相控阵技术控制损伤散射信号时间延迟得到不同方向的信号,进而实现对结构的多方位扫描,根据扫描信号特点,将各方向的监测结果信号采用灰度图像显示.该方法在铝板结构中实现损伤的定位成像,其不仅能够精确定位损伤位置,而且能够直观清晰显示结构损伤.

关键词

Lamb 波;相控阵;结构健康监测;损伤图像

中图分类号 TB553

文献标志码 A

0 引言

结构健康监测技术利用先进的信号处理方法,提取结构损伤特征参数,识别结构的状态,在其早期就加以控制以消除安全隐患或控制安全隐患的进一步发展,从而实现结构健康的自诊断,保证结构的安全和降低维修费用^[1].各种结构健康监测技术中,基于 Lamb 波的结构健康监测方法对结构中的小损伤比较敏感,因此得到广泛的应用^[2-3].Lamb 波结构健康监测方法是通过利用损伤监测方法对结构的传感器响应信号进行分析,提取结构损伤特征参数,进而识别结构中的损伤.基于损伤散射信号的损伤监测方法是用于 Lamb 波结构健康监测的损伤监测方法之一,它是通过分析结构损伤引起的散射信号,提取损伤散射信号的到达时刻等特征参数,实现对损伤的定位和监测.Lamb 波在结构内部传播的过程中,当遇到结构中的损伤时会发生散射,散射信号会被布置在结构不同位置的传感器接收.由于损伤散射信号是由损伤的存在而产生的,其中包含了与损伤相关的信息,如损伤位置、范围、程度等,通过对损伤散射信号进行分析处理,可以实现结构中损伤的监测与评估^[4-6].典型的基于损伤散射信号的损伤监测方法有椭圆定位方法、四点圆弧定位法等,这类方法是通过分析损伤散射信号,确定损伤与激励和传感之间的位置关系从而进行损伤定位.该类方法也有其一定的局限性,在采用几何方法定位损伤时,如果损伤比较靠近传感器与驱动器的连线路径,则所得到的波达时间差将会很小,会影响损伤的定位.针对这个问题,可以在监测时采用多传感器阵列的形式加以解决.

基于 Lamb 波相控阵监测和成像技术是结构健康监测领域一个新的发展方向,该技术利用相控阵换能器对结构进行扫描,可以灵活有效地控制波束指向,使波束在一定范围内对结构进行扫描,有效识别结构中损伤.同时,由于特定指向的波束由压电阵列中各阵元接收的散射信号在特定时间的干涉累加,因此与损伤相关的模态响应在干涉累加后能量增强,而其他响应由于随机累加无法增强,从而使损伤信号的信噪比得到提高,这一特点恰好克服了复杂反射结构中 Lamb 波监测时的模式混叠问题.文献[7-9]对超声相控阵技术进行了研究,但是,由于基于 Lamb 波的结构健康监测中 Lamb 波的传播较为特殊,在基于损伤散射信号的主动 Lamb 波监测中,激励器与传感器位置固定,激励器在结构中激发出的 Lamb 波沿着板结构平面各方向

收稿日期 2013-09-01

资助项目 国家自然科学基金(51305211)

作者简介

孙亚杰,女,博士,讲师,研究方向为信号信息处理、传感器与检测技术.syj@nuist.edu.cn

¹ 南京信息工程大学 信息与控制学院,南京, 210044

传播,传感器得到的 Lamb 波信号不仅来自损伤散射,还包括了来自激励器的信号和边界反射信号,且从幅值上看损伤散射信号要小得多.因此,直接引入超声相控阵技术时,由于损伤散射信号很微弱,即使实现了聚焦其幅值也会因为小于边界反射和直接传播信号而无法提取.

本文利用相控阵原理对损伤散射信号进行分析实现结构状态的监测.利用结构健康状态与损伤状态传感器响应信号的比较获取损伤散射信号,利用相控阵技术控制损伤散射信号时间延迟得到不同方向的信号,从而实现对结构的多方位扫描.该方法在铝板结构中进行了实验验证,并将监测结果采用图像显示.

1 超声相控阵原理

超声相控阵换能器是由多个相互独立的压电片在空间按一定方式排列组成一个阵列,每个压电片为一个阵元,当各阵元以同一频率的信号激励时,它们所发出的声波是相干的,这些超声波在空间干涉形成一个特定指向性或聚焦特性的波束.运用电子技术,按一定的规则和时序控制激发各个阵元,使阵列中各阵元发射的超声波叠加形成一个新的波阵面,在效果上相当于改变了换能器的空间排列形式,从而能够改变换能器阵列所辐射的波束指向;同样,在反射波的接收过程中,按一定规则和时序控制接收阵元的接收并进行信号合成,再将合成结果以适当形式显示^[10].因此,相控阵是通过控制每个压电元件的发射和接收的时间延迟进而控制波束的方向,实现对结构的多方位扫描.

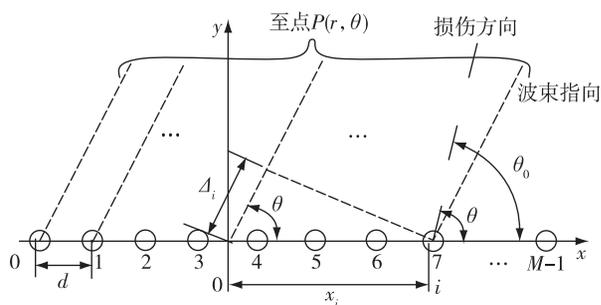


图1 相控阵原理

Fig. 1 Principle of phased array

如图1所示,间距为 d 的 M 个压电片排成直线,以压电阵列的中心位置为原点建立坐标系,则第 i 个压电片的坐标为 $(x_i, 0)$, $i = 0 \sim (M - 1)$, 其中 x_i 为 $x_i = [i - (M - 1)/2]d$. (1)

1.1 指向性分析

超声相控阵波束指向性是超声波定向发射和传播的性质,也就是超声换能器晶片向一个方向集中辐射超声 Lamb 波束的性质.指向性是指超声相控阵换能器阵列发射响应或接收响应的辐射随方位角变化的一种特性,通常,它在某个参考方向上有一个极大值.指向性函数是描述发射阵辐射远场或接受阵灵敏度的空间分布函数.根据上述指向性函数的定义,指向性函数的表达式^[11]为

$$F(\theta) = \frac{\left| \sum_{i=1}^N \tilde{A}_i e^{-j\varphi_i} \right|}{\left| \sum_{i=1}^N \tilde{A}_i e^{-j\varphi_0} \right|} = \frac{\left| \sum_{i=1}^N \tilde{A}_i e^{-j(\varphi_i - \varphi_0)} \right|}{\left| \sum_{i=1}^N \tilde{A}_i \right|} = \frac{\left| \sum_{i=1}^N \tilde{A}_i e^{-j\Delta\varphi_i} \right|}{\left| \sum_{i=1}^N \tilde{A}_i \right|}, \quad (2)$$

其中, \tilde{A}_i 为第 i 号阵元在信号源远场接收时所产生的开路输出电压的复振幅, φ_i 为 Lamb 波沿 θ 方向入射时,第 i 号压电阵元相对于坐标原点的相位, φ_0 为 Lamb 波沿波束指向 θ_0 入射时,第 i 号压电阵元相对于坐标原点的相位, $\Delta\varphi_i$ 为 φ_i 与 φ_0 的相位差,即: $\Delta\varphi_i = \varphi_i - \varphi_0 = kx_i(\cos \theta - \cos \theta_0)$, k 为波数.

压电阵列为均匀线阵,具有相同灵敏度, $\tilde{A}_0 = \tilde{A}_1 = \dots = \tilde{A}_{M-1}$. 将 $\tilde{A}_0 = \tilde{A}_1 = \dots = \tilde{A}_{M-1}$ 和 $\Delta\varphi_i$ 代入式(2)得:

$$F(\theta) = \left| \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} e^{-j\Delta\varphi_i} \right| = \left| \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} e^{-jkx_i(\cos \theta - \cos \theta_0)} \right| = \left| \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} e^{-j(i - \frac{M-1}{2})kd(\cos \theta - \cos \theta_0)} \right|. \quad (3)$$

令 $i' = i - \frac{M-1}{2}$, $X = kd(\cos \theta - \cos \theta_0)$, 将 i' 和 X 代入式(3), 并利用等比数列 $a, ab, ab^2, \dots, ab^{N-1}$ 的求和公式 $s = \frac{a(1-b^N)}{1-b}$ 和欧拉公式 $e^{jx} = \cos x + j\sin x$ ($|e^{jx}| = 1$) 得:

$$F(\theta) = \frac{1}{M} \left| \sum_{i'=-\frac{M-1}{2}}^{\frac{M-1}{2}} e^{-ji'X} \right| = \frac{1}{M} \left| \frac{e^{j\frac{M-1}{2}X}(1 - e^{-jMX})}{1 - e^{-jX}} \right| = \frac{1}{M} \left| e^{j\frac{M-1}{2}X} \right| \left| \frac{1 - e^{-jMX}}{1 - e^{-jX}} \right| = \frac{1}{M} \left| \frac{1 - e^{-jMX}}{1 - e^{-jX}} \right|. \quad (4)$$

利用公式 $e^{-jx} = \cos x - j\sin x$ 与三角函数公式 $1 - \cos 2\alpha = 2\sin^2 \alpha$, $\sin 2\alpha = 2\sin \alpha \cos \alpha$ 得:

$$F(\theta) = \frac{1}{M} \left| \frac{1 - \cos MX + j \sin MX}{1 - \cos X + j \sin X} \right| = \frac{1}{M} \left| \frac{2 \sin^2 \frac{MX}{2} + j 2 \sin \frac{MX}{2} \cos \frac{MX}{2}}{2 \sin^2 \frac{X}{2} + j 2 \sin \frac{X}{2} \cos \frac{X}{2}} \right| = \frac{\sin \frac{MX}{2}}{M \sin \frac{X}{2}} \cdot \left| \frac{\left(\sin \frac{MX}{2} + j \cos \frac{MX}{2} \right)}{\left(\sin \frac{X}{2} + j \cos \frac{X}{2} \right)} \right| = \frac{\sin \frac{MX}{2}}{M \sin \frac{X}{2}} \quad (5)$$

因线阵中压电阵元数目较多,而 X 较小, $\sin \frac{X}{2} \approx \frac{X}{2}$, 代入式(5), 故可得压电阵元的指向性函数为

$$F(\theta) \approx \frac{\sin \frac{MX}{2}}{\frac{MX}{2}} = \frac{\sin \frac{Mkd}{2} (\cos \theta - \cos \theta_0)}{\frac{Mkd}{2} (\cos \theta - \cos \theta_0)} \quad (6)$$

当 $\frac{MX}{2} = 0$ 时, 即 $\theta = \theta_0$, 线阵指向性函数 $F(\theta)$ 达到最大值 1, 而波束指向 θ_0 为 $\cos \theta_0 = \frac{\varphi_0}{kd}$, 或者 $\theta_0 = \arccos\left(\frac{\varphi_0}{kd}\right)$, 因此改变压电阵列中相邻 2 个压电阵元的相位差 φ_0 , 即可改变波束指向, 实现相控阵波束在平面空间的扫描.

1.2 监测原理

阵元发射信号时, 远场区 $P(r, \theta)$ 点接收到的信号为各个阵元激励信号的叠加, r 为点 P 到原点的距离, θ 为波束主瓣的最大值方向与 x 轴夹角. 那么点 P 接收到的信号为

$$S(r, \theta) = K \sum_{i=0}^{M-1} S_T \left(t - \frac{r}{c} + \delta_i(\theta) \right), \quad (7)$$

其中, K 为信号传播一定距离后幅值的衰减系数, S_T 表示激励信号, r/c 为信号从坐标原点传播到点 P 所需要的时间, c 为超声波在板中传播的群速度, $\delta_i(\theta)$ 为第 i 个压电片与原点的波程差 $\Delta_i(\theta) = x_i \cdot \cos \theta$ 所引起的时间差, 即 $\delta_i(\theta) = x_i \cdot \cos(\theta)/c, i = 0 \sim (M-1)$.

若对每个阵元激励附加 $\varepsilon_i(\theta)$ 的时间延迟, 则点 P 接收到的信号为

$$S(r, \theta) = K \sum_{i=0}^{M-1} S_T \left(t - \frac{r}{c} + \delta_i(\theta) - \varepsilon_i(\theta) \right). \quad (8)$$

如果 $\varepsilon_i(\theta) = \delta_i(\theta)$, 即 $\varepsilon_i(\theta) = x_i \cdot \cos(\theta)/c, i =$

$0 \sim (M-1)$, 那么点 $P(r, \theta)$ 接收到的信号能量达到最大, 即此时波束的主瓣最大值指向为 θ , 点 P 信号为

$$S(r) = K \cdot M \cdot S_T \left(t - \frac{r}{c} \right). \quad (9)$$

要求波束主瓣最大值方向为 θ , 则取时间延迟 $\varepsilon_i(\theta) = x_i \cdot \cos(\theta)/c$ 即可. 当时间延迟 $\varepsilon_i(\theta) = x_i/c$ 时, 即 $\theta = 0^\circ$, 波束指向在阵列的方向; 当时间延迟 $\varepsilon_i(\theta) = x_i \cdot \cos(\theta)/c$ 时, 波束指向由阵列方向旋转到与 x 轴成 θ_0 方向, 即通过控制时间延迟, 就可以按照预定的偏转角度控制主波束的偏转方向. 由互易性, 在相同条件下, 接收和发射是一致的, 即通过控制时间延迟可以接收预定的偏转角度方向上的目标信息.

信号的波束指向偏转到损伤位置所在的方向, 所有信号将在损伤处聚焦, 通过聚焦使损伤信号能量叠加增强, 则在此方向上由损伤引起的反射信号能量最强, 据此获得损伤的方向信息.

以激励信号为时间基准, 通过合成传感信号得到特定方向上的该信号的传播时间, 从而计算出坐标原点到损伤再到原点这条路径的距离, 即损伤到原点的距离为

$$r = \frac{c \cdot t}{2}, \quad (10)$$

其中 t 为损伤所在方向上合成后的传感信号和激励信号所对应峰峰值的时间差.

2 相控阵监测成像原理

信号的幅值是距离和方向(角度)的函数, 将不同方向上合成信号用灰度的形式表示在距离-角度-幅值的图像上, 得到扫描图像, 图像中灰度的从亮到暗对应着能量的从高到低, 最亮处即损伤所在处, 从而可以利用扫描图像表征损伤.

在超声相控阵损伤监测中, 采用压电元件组成线形阵列. 监测时任取其中一个压电元件作为驱动器在结构中激发 Lamb 波, 其他压电元件则作为传感器接收结构的响应信号, 响应信号在其发射和接收过程中附加时间延迟从而控制其波束指向, 然后结构健康状态下采集的传感器响应信号作为参考信号, 结构损伤状态下采集的传感器响应信号与之相比较, 得到损伤散射信号. 将同一角度的损伤散射信号经过时间延迟后合成该方向的信号, 每个合成信号为时间-幅值(距离-幅值)的函数, 将不同方向上合成信号用灰度的形式表示在距离-角度-幅值图像

上,得到扫描图像,图像每点的幅值为合成信号的归一化幅值,合成信号每点的位置对应其所在方向扫描结构的平面位置,信号每点在图像中的幅值和位置则按如下公式计算:

$$\begin{cases} A_{nm} = \sum_{k=1}^{M \times (M-1)} f_{nm} S_{nmk}, n = 0 \sim (N-1), \\ m = 0^\circ \sim 180^\circ, \\ \rho_{nm} = c \cdot (t_{nm} - t_0) = \frac{c \cdot (n_m - n_0)}{2f_s}, \\ n = 0 \sim (N-1), m = 0^\circ \sim 180^\circ, \end{cases} \quad (11)$$

其中,下标 n 为数据点数,下标 m 为角度, N 为采集信号数据总长度, k 为信号个数, M 为传感器个数, A_{nm} 为 m 角度的信号中第 n 个点对应的归一化幅值, f_{nm} 为 m 角度的信号中第 n 个点对应的归一化系数, S_{nmk} 为第 k 个信号在 m 角度第 n 个点的幅值, ρ_{nm} 为在 m 角度的信号中第 n 个点对应的距离, c 为 Lamb 波在结构中的群速度, t_{nm} 为 m 角度的合成信号中第 n 个点的到达时刻, t_0 为激励信号的到达时刻, n_m 为 m 角度的信号中第 n 个点, n_0 为激励信号到达时刻对应的点数, f_s 为采样频率.

3 实验验证

3.1 实验系统

实验系统由任意激励波形产生模块、高频宽带功率放大模块、数字 I/O 控制模块、程控增益电荷放大模块、压电响应高速数据采集模块、多通道扫描切换模块组成(图 2).实验对象为 LF-21M 防锈铝板结构组成.粘贴压电片的 LF-21M 防锈铝板结构示意图图 3 所示.铝板结构的基本尺寸为 2 000 mm × 1 200 mm × 1.5 mm,压电片的直径为 8 mm,厚度为 0.48 mm,相邻 2 个压电片的中心间距为 12 mm,8 个压电片的标号从下而上依次为 0~7 号.图 3 中标记为 $\phi 20$ mm 的圆为质量块加载位置,以压电阵列中心位置为原点,所在直线为横轴,压电片标号从小到大方向为正方向建立坐标系,质量块加载中心点坐标为 $(102^\circ, 170 \text{ mm})$.

3.2 损伤识别

驱动器所激励的 Lamb 波信号的中心频率为 40 kHz,幅值为 $\pm 5 \text{ V}$,波峰数为 5,如图 4 所示.

按照超声相控阵扫描成像的实验验证过程,首先在结构健康状态和损伤状态下进行数据采集,分别得到结构健康状态下传感器响应信号和损伤状态下的传感器响应信号.采集信号时,以轮循的方式在



图 2 实验系统

Fig. 2 Experiment system

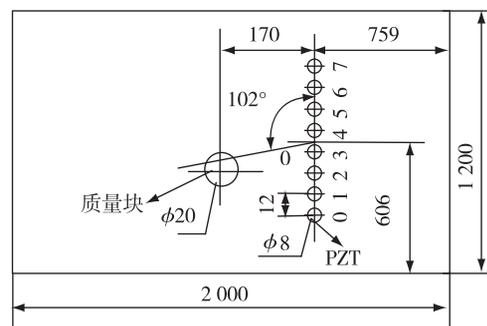


图 3 LF-21M 防锈铝板结构示意图(单位:mm)

Fig. 3 Sketch map of the LF-21M antirust aluminum structure(unit in mm)

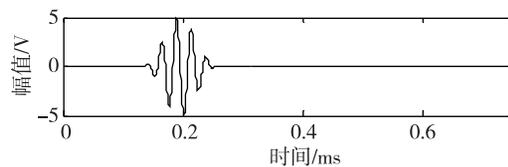


图 4 激励信号时域

Fig. 4 Time domain of excitation signal

结构健康与损伤状态下分别进行.当 θ 取 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内的每个角度时,阵列中每个压电片分别作为驱动器,其激发的信号附加 $\varepsilon_i(\theta) = x_i \cdot \cos(\theta)/c$ 的时间延迟,当其中一个作为驱动器时,其他的则作为传感器接收传感信号,那么对应每个角度可以采集 $8 \times 7 = 56$ 个传感信号.结构健康状态下的传感器响应信号作为参考信号,损伤状态下的传感器响应信号与之相比较得到损伤散射信号,损伤散射信号是由于损伤的存在而产生的.铝板结构加载时,1 号压电阵元作为驱动器,0 号压电阵元作为传感器时(即 1-0

通道), 0° 方向在结构健康状态和损伤状态下采集的传感器响应信号与由其得到的损伤散射信号如图5所示,图5a为健康信号,图5b为损伤信号,图5c为损伤散射信号.损伤散射信号由结构损伤前后响应信号相减得到,它的产生是由损伤的出现而引起的,损伤散射信号中携带结构中的损伤信息,由图5c可以看到损伤散射信号很微弱,其幅值与边界反射和直接传播信号相差无几而无法提取.因此,需要根据超声相控阵监测原理,对信号进行延迟累加,提高信号的信噪比.

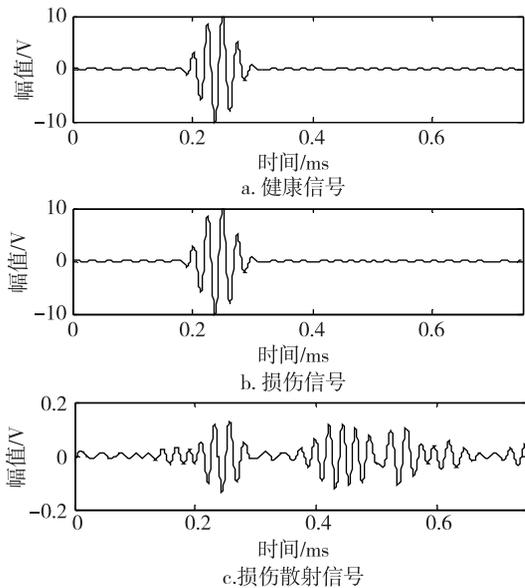


图5 1-0通道 0° 方向传感器响应信号与损伤散射信号
Fig. 5 Sensor response signals and damage scattered signal in channel 1-0 at direction of 0°

将各方向损伤散射信号进行相应的时间延迟后,把每个角度上的信号进行叠加合成该方向上的总信号,并对其进行归一化处理,即每点的幅值与所有信号的最大幅值相比较得到该点的相对幅值,比较各个角度上的信号,归一化幅值最大的信号所在的角度即为损伤所在的方向.

将 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内归一化的合成信号,按照其对应的角度用灰度的形式表示在距离-角度-幅值的图上即可得到监测结果损伤图像,如图6所示.图6中 x 轴为距离, y 轴为角度, z 轴为归一化幅值,每点上信号的相对幅值用灰度的形式表示,灰度从暗到亮对应着幅值从低到高.从图6中可以清晰的看到,损伤处幅值最大.质量块加载的识别结果为 $(100^\circ, 173 \text{ mm})$,实际损伤位置为 $(102^\circ, 170 \text{ mm})$,角度误差为 2° ,距离误差为 6.7 mm .其中,角度误差的计算

是通过监测损伤位置与真实损伤位置的角度直接相减获得,而距离误差是通过余弦定理计算得出的,即:

$$\begin{cases} \Delta\theta = |\theta_m - \theta_r|, \\ \Delta r = \sqrt{r_m^2 + r_r^2 - 2r_m \cdot r_r \cos(\Delta\theta)}, \end{cases} \quad (12)$$

其中, $\Delta\theta$ 为监测损伤与真实损伤之间的角度误差, θ_m 为监测损伤位置的角度, θ_r 为实际损伤位置的角度, Δr 为监测损伤与真实损伤之间的距离误差, r_m 为监测损伤位置的距离, r_r 为真实损伤位置的距离.

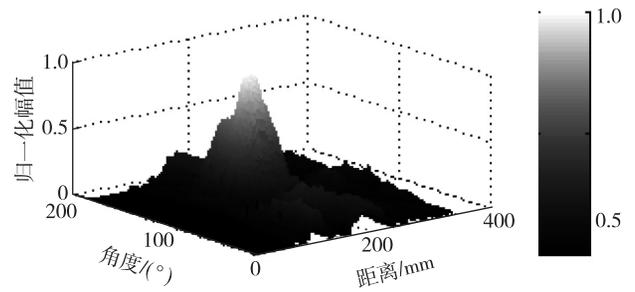


图6 监测结果损伤图像

Fig. 6 Damage image of monitoring result

4 结论

本文对相控阵波束指向与监测原理进行分析,利用Lamb波相控阵结构健康监测原理对损伤散射信号进行成像.利用相控阵原理对Lamb波损伤散射信号进行分析实现结构状态监测,通过比较结构健康状态与损伤状态传感器响应信号获取Lamb波损伤散射信号,采用相控阵技术控制损伤散射信号时间延迟得到不同方向的信号,实现对结构的多方位扫描,并将各方向的监测结果信号采用灰度图像显示.该方法在铝板结构中实现损伤的定位成像,该方法能够精确定位并直观清晰地显示结构损伤.

参考文献

References

- [1] 袁慎芳.结构健康监测[M].北京:国防工业出版社,2007:206-212
YUAN Shenfang, Structural health monitoring and damage control [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007:206-212
- [2] Diamanti K, Soutis C, Hodgkinson J M. Non-destructive inspection of sandwich and repaired composite laminated structures[J]. Composites Science and Technology, 2005, 65(13):2059-2067
- [3] Fromme P. Structural health monitoring of plates with surface features using guided ultrasonic waves[C]. Health

- Monitoring of Structural and Biological Systems, Proc of SPIE, 2009, 7295: 1-8, doi: 10. 1117/12. 815530
- [4] Su Z Q, Wang X M, Chen Z P, et al. A hierarchical data fusion scheme for identifying multi-damage in composite structures with a built-in sensor network[J]. Smart Materials and Structures, 2007, 16(6): 2067-2079
- [5] Lu Y, Ye L, Su Z Q. Crack identification in aluminum plates using lamb wave signals of a PZT sensor network [J]. Smart Materials and Structures, 2006, 15 (3): 839-849
- [6] 孙亚杰, 袁慎芳, 王帮峰. 基于 HHT 技术的二维结构损伤定位研究[J]. 压电与声光, 2007, 29(6): 736-739
SUN Yajie, YUAN Shenfang, WANG Bangfeng. Research on two-dimensional damage localization in composition material based on HHT technique [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2007, 29(6): 736-739
- [7] Yu L Y, Bottai-Santoni G, Giurgiutiu V. Shear lag solution for tuning ultrasonic Piezoelectric wafer active sensors with applications to Lamb wave array imaging [J]. International Journal of Engineering Science, 2010, 48(10): 848-861
- [8] Giurgiutiu V, Xu B L, Liu W P. Development and testing of high-temperature Piezoelectric Wafer active sensors for extreme environments [J]. Structural Health Monitoring, 2010, 9(6): 513-525
- [9] Purekar A S, Pines D J. Damage detection in thin composite laminates using piezoelectric phased sensor arrays and guided Lamb wave interrogation [J]. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 2010, 21 (10): 995-1010, doi: 10. 1177/1045389X10372003
- [10] Birks A S, Green R E, MacIntire P J. 美国无损检测手册·超声卷(上册) [M]. 上海: 世界图书出版公司, 1996: 438-444
Birks A S, Green R E, MacIntire P J. American nondestructive testing handbook: Ultrasonic testing [M]. Shanghai: Shanghai Branch, WPC, 1996: 438-444
- [11] 栾桂东, 张金铎, 王仁乾. 压电换能器和换能器阵 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2005: 326-354
LUAN Guidong, ZHANG Jinduo, WANG Renqian. Piezoelectric transducer and transducer array [M]. Beijing: Peking University Press, 2005: 326-354

Lamb wave phased array theory and its application in damage imaging for structural health monitoring

SUN Yajie¹ ZHANG Yonghong¹ QIAN Chengshan¹ ZHANG Zijia¹

¹ School of Information and Control, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract The phased array beam steering is controlled and the Lamb wave phased array theory is discussed in detail. Phased array technology is used to control the time delay of the Lamb wave and to make the Lamb wave focus on the structure damage. The damage scattered signal is extracted by comparing the health signal and the damage signal. The Lamb wave signal direction is controlled by utilizing the time delay to the excitation signals and the damage scattered signals and the structure is monitored in all orientations. The processed signals are shown on the mapped image in gray-scale. The gray-scale in the mapped image from dark to light corresponds to the amplitude from low to high. The location where the max amplitude of the signals lie is the damage location in the structure. Finally, the proposed method is verified by an experiment on aluminum sheet structure and the result shows that it is effective to identify the damage position of structure and to display the damage clearly.

Key words Lamb wave; phased array; structure health monitoring (SHM); damage image