



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104483382 B

(45)授权公告日 2017.02.22

(21)申请号 201410669590.7

(22)申请日 2014.11.20

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104483382 A

(43)申请公布日 2015.04.01

(73)专利权人 北京工业大学

地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号

(72)发明人 刘增华 胡亚男 樊军伟 曹瑾瑾

何存富 吴斌

(74)专利代理机构 北京思海天达知识产权代理

有限公司 11203

代理人 纪佳

(51)Int. Cl.

G01N 29/04(2006.01)

(56)对比文件

CN 104007180 A, 2014.08.27, 全文.

CN 101424663 A, 2009.05.06, 全文.

CN 102645490 A, 2012.08.22, 全文.

US 6000288 A, 1999.12.14, 全文.

KR 101328062 B1, 2013.11.08, 全文.

US 2010316328 A1, 2010.12.16, 全文.

宋金钢等. 基于磁致伸缩效应的超声导波管道检测实验研究.《无损探伤》.2009, 第33卷(第6期), 第39-42页.

Seung Hyun Cho et al. Megahertz-Range Guided Pure Torsional Wave Transduction and Experiments Using a Magnetostrictive Transducer.《IEEE TRANSACTION ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL》.2010, 第1225-1229页.

刘增华等. 高阶纵向超声导波在钢绞线缺陷检测中的应用研究.《工程力学》.2011, 第28卷(第4期), 第214-220页.

审查员 高世芝

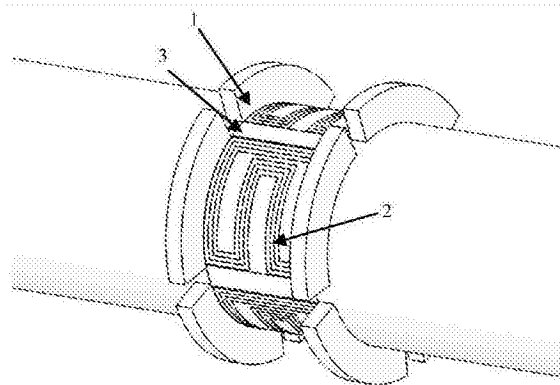
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种纵向模态磁致伸缩阵列传感器

(57)摘要

一种纵向模态磁致伸缩阵列传感器,属于超声无损检测领域。本发明提出了一种适用于管道布置和阵列的集成在柔性电路板中双层簇状回折线圈,设计并研制一种纵向模态磁致伸缩阵列传感器,实现在管道中纵向模态L(0,2)的激励。通过试验验证了研制的纵向模态磁致伸缩阵列传感器在管道上激励L(0,2)模态,试验测试了该传感器的频率响应特性,使用该传感器能快速有效检测出对合金钢管中缺陷位置,且定位精度较高,为进一步利用该传感器并结合相控阵原理,实现管道中缺陷二维成像奠定了基础。



1. 一种纵向模态磁致伸缩阵列传感器,包括铷铁硼磁铁(1),双层簇状回折线圈(2),镍带(3);所述的双层簇状回折线圈(2)设置于柔性电路板中,镍带(3)粘贴于检测管道外表面一周,4片设置有双层簇状回折线圈(2)的柔性电路板放置在镍带(3)上,沿着检测管道环向均匀布置一周,且与镍带(3)紧密接触,镍带(3)两端分别放置4块铷铁硼磁铁(1),所述铷铁硼磁铁(1)侧面的法线方向沿着管道长度方向,镍带(3)两端的铷铁硼磁铁(1)侧面两两相对,且相对侧面极性相反。

2. 如权利要求1所述的一种纵向模态磁致伸缩阵列传感器,其特征在于:铷铁硼磁铁(1)的侧面截面形貌为扇形,沿两侧面极化,且沿环向均匀布置管道外表面的周向。

3. 如权利要求1所述的一种纵向模态磁致伸缩阵列传感器,其特征在于:所述的柔性电路板中包含双层簇状回折线圈(2),采用阵列式回折布线方式,使导线呈簇型分布,底上双层布线,相邻两簇线圈间距D等于设计的磁致伸缩阵列传感器理论中心频率对应的半波长 $\lambda/2$ 。

4. 如权利要求1所述的一种纵向模态磁致伸缩阵列传感器,其特征在于:镍带(3)长度为管道外表面周长,宽度为研制的纵向模态磁致伸缩阵列传感器线圈覆盖的宽度,镍带(3)的边缘打磨变薄。

5. 如权利要求1所述的一种纵向模态磁致伸缩阵列传感器,其特征在于:所述的镍带(3)可以更替为磁致伸缩系数大于 3×10^{-7} 材料的薄带。

一种纵向模态磁致伸缩阵列传感器

技术领域

[0001] 本发明为一种纵向模态磁致伸缩阵列传感器,属于超声无损检测领域,可在管道中激励出纵向模态 $L(0,2)$,实现对管道的无损检测。

背景技术

[0002] 超声导波技术是一种新兴的无损检测新技术,相比传统的检测方法,其具有检测范围大、效率高、衰减小等优点,对于结构表面缺陷和内部缺陷都相当敏感,因此超声导波技术广泛应用于多类工程结构的无损评价和健康监测。其中,使用轴对称的纵波模态和扭转波模态的导波方法可以实现管道的快速、高效的检测,由于轴对称纵向导波 $L(0,2)$ 模态传播速度快,故能比其他模态的导波更快的到达导波接收装置,因此更易于在时域内与其他模态进行区分,而且 $L(0,2)$ 模态导波在传播过程中的离面位移相对较小,传播过程中的能量泄露现象也相应地减小,传播距离相对较长,故可检测更长的距离,使得 $L(0,2)$ 模态导波对管道长距离检测具有一定优势。

[0003] 目前,常用的激励超声导波主要两种方式,一种方式是基于材料压电效应的压电传感器。压电传感器在激励接收超声波时,通过耦合剂与被测件接触,而且往往需要对试件表面进行预处理,因此检测效率较低;而且压电传感器频率带宽相对较窄,容易激励出多个导波模态,在缺陷信息提取上有一定难度。另一种方式是基于电磁耦合机理的电磁声传感器(Electro-magnetic Acoustic Transducer, EMAT),无需接触和耦合剂,可直接在导体或铁磁性材料中激励接收超声波,具有非接触、无需耦合剂、对被测件表面要求不高、重复性好、适于高温、高速检测等优点。

[0004] 电磁声传感器一般主要包括磁铁和线圈两部分。通过改变磁铁和线圈的结构形式,可设计出不同类型的电磁声传感器。H.Ogi等利用不等间距的蛇形线圈和永磁铁,设计了一种线聚焦SV波电磁声传感器。S.H.Cho和K.H.Sun等设计制作了一种方向可调的磁致伸缩传感器,用于非铁磁性金属和非金属的检测。H.Kwun和C.M.Teller在钢杆中进行了激励和检测超声波的实验,通过改变传感器的结构和偏执磁场的分布,在磁致伸缩效应及其逆效应的作用下激励出了超声导波。K.H.Sun和C.Dynes等研究了利用纵向模态的磁致伸缩传感器对管道中缺陷进行检测和描述的问题,对不同的检测结构的不同类型的缺陷(刻槽和腐蚀)进行了检测,为缺陷描述和健康状态评估的实现提供了实验基础。在国内,冯红亮等设计的磁致伸缩传感器成功的在碳钢试样内部激励出纵向模态和扭转模态的导波。王跃民等分析了纵向模态导波的激励机理,成功的在圆管中激励出纵向模态超声导波。

[0005] 目前,国内在导波理论研究上取得了一定的进展,但是在商业应用上大多数被检测的构件是不规则,而且缺陷未知,要求传感器易于安装、检测和拆卸,因此,要优化设计已有的磁致伸缩传感器或研制新型磁致伸缩传感器。目前,管道超声导波专用探头全部由国外厂商生产,国内还处于研发阶段,距离工程成熟还有一些问题值得深入研究和探讨。

发明内容

[0006] 本发明的目的是设计一种纵向模态磁致伸缩阵列传感器,基于铁磁性材料镍带的磁致伸缩效应,将镍带的磁致伸缩变形通过粘接方式机械地耦合进入需要检测管道,从而有效激励出 $L(0,2)$ 模态超声导波,实现管道中缺陷的检测。

[0007] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0008] 一种纵向模态磁致伸缩阵列传感器,包括铷铁硼磁铁1,双层簇状回折线圈2,镍带3;所述的双层簇状回折线圈2设置于柔性电路板中,镍带3粘接或固定于检测检测管道外表面一周,4片设置有双层簇状回折线圈2的柔性电路板放置在镍带3上,沿着检测管道环向均匀布置一周,且与镍带3紧密接触镍带3两端分别放置4块铷铁硼磁铁1,所述铷铁硼磁铁1侧面的法线方向沿着管道长度方向,镍带(3)两端的铷铁硼磁铁1侧面两两相对,且相对侧面极性相反;

[0009] 铷铁硼磁铁1侧面截面形貌为扇形,沿两侧面极化,且沿环向均匀布置管道外表面的周向。

[0010] 所述的柔性电路板中包含双层簇状回折线圈2,采用阵列式回折布线方式,使导线呈簇型分布,底上双层布线,相邻两簇线圈间距 D 等于设计的磁致伸缩阵列传感器理论中心频率对应的半波长 $\lambda/2$;

[0011] 镍带3长度为管道外表面周长,宽度为研制的纵向模态磁致伸缩阵列传感器线圈覆盖的宽度,镍带3的边缘打磨变薄。

[0012] 所述的镍带3可以更替为其他磁致伸缩系数较高的材料的薄带

[0013] 本发明可以获得如下有益效果:

[0014] 1、柔性电路板中包含双层簇状回折线圈2,相邻两簇线圈间距 D 等于设计的磁致伸缩阵列传感器理论中心频率对应的 $L(0,2)$ 模态的半波长 $\lambda/2$,通过改变相邻两簇线圈间距 D ,可以设计出不同中心频率的纵向模态磁致伸缩阵列传感器;

[0015] 2、柔性印刷板中的双层簇状回折线圈2,采用阵列式回折布线方式,使导线呈簇型分布,相比传统回折线圈结构,双层簇状回折线圈2产生的动磁场强度得到增强,从而大大提高了信号能量和信噪比;

[0016] 3、铷铁硼磁铁1形貌为扇形,能更好的与管壁贴合;磁铁沿着扇形对称轴两侧极化,能提供一个沿管壁分布均匀的轴向静磁场。

[0017] 4、采用粘贴等其他方式将铁磁性材料镍带3固定在管道表面,基于磁致伸缩效应,可以在不同材料属性的管道中激励出 $L(0,2)$ 模态导波;

[0018] 5、镍带3的边缘打磨变薄,使镍带3与管道接触边界有一个过渡区域,可以减少导波在镍带内部来回反射的可能,减弱了磁致伸缩型传感器常见的拖尾现象。

附图说明

[0019] 图1纵向模态磁致伸缩阵列传感器安装简图;

[0020] 图2铷铁硼磁铁示意图;

[0021] 图3双层簇状回折线圈示意图;

[0022] 图4镍带示意图;

[0023] 图5 $\varnothing 42 \times 5 \times 1000$ (单位:mm) 合金钢管相速度频散曲线;

[0024] 图6 $\varnothing 42 \times 5 \times 1000$ (单位:mm) 合金钢管群速度频散曲线;

[0025] 图7磁致伸缩阵列传感器检测管道缺陷试验系统示意图；

[0026] 图8磁致伸缩阵列传感器的频率响应特性曲线；

[0027] 图9磁致伸缩阵列传感器检测带轴向槽状缺陷(12mm×2mm×4mm)管道,激励频率在270kHz时接收信号波形图。

[0028] 图中:1、钕铁硼磁铁,2、双层簇状回折线圈,3、镍带,4、高能超声激励接收装置RAM-5000,5、计算机,6、数字示波器,7、激励端阻抗匹配模块,8、接收端阻抗匹配模块,9、前置放大模块,10、纵向模态磁致伸缩阵列传感器作为激励传感器,11、纵向模态磁致伸缩阵列传感器作为接收传感器,12、合金钢管,13、位于合金钢管外表面的沿轴向槽状缺陷。

具体实施方式

[0029] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明,且以下实施例只是描述性的不是限定性的,不能以此来限定本发明的保护范围。

[0030] 如图1,为本发明纵向模态磁致伸缩阵列传感器安装简图;包括钕铁硼磁铁1,双层簇状回折线圈2,镍带3。检测对象为合金钢管,规格为 $\text{O}42\times 5\times 1970$ (单位:mm),材质为12Cr1MoV的合金钢管,密度为 $7.85\text{g}/\text{cm}^3$,泊松比为0.27。图5、图6中给出了上述参数下,合金钢管12中纵向模态的频散曲线。使用环氧树脂胶将镍带3粘接合金钢管12外表面一周,将8个钕铁硼磁铁1分别置于镍带3两侧,相对侧面极性相反,且环向均匀布置合金钢管12外表面一周。

[0031] 所述的钕铁硼磁铁1如图2所示,形貌为扇形,沿扇形对称轴两侧极化;扇形的内弧半径 r_i 与检测合金钢管12外半径相同即为21mm,扇形张角 θ 为 70° ,沿扇形径向长度 h 为10mm,钕铁硼磁铁1的厚度 d 为5mm。钕铁硼磁铁1位置分布如图1所示,8块磁铁分别至于镍带3两侧,相对侧面极性相反,且环向均匀布置合金钢管12外表面一周,在其表面附近产生轴向分布静磁场。

[0032] 所述的双层簇状回折线圈2如图3所示,采用阵列式回折布线方式,使导线呈成簇状布置,采用底上双层布线,线圈的有效尺寸为 $35\times 32\text{mm}$ 。线宽0.2mm,线间距0.3mm,线圈长度35mm,宽度为32mm,相邻两簇线圈中心间距 D 等于设计的水平剪切模态磁致伸缩阵列传感器理论中心频率对应的 $L(0,2)$ 模态的半波长 $\lambda/2$,该传感器相邻两簇线圈中心间距 $D=10\text{mm}$,对应的纵向模态磁致伸缩阵列传感器的理论中心频率为267kHz。

[0033] 所述的镍带3如图4所示,沿检测对象合金钢管12粘接一圈,长度为合金钢管12外表面周长 $l=\pi\times 42\approx 132\text{mm}$,宽度为研制的纵向模态磁致伸缩阵列传感器线圈覆盖的宽度35mm,厚度为0.1mm,并将镍带的边缘进行打磨变薄。

[0034] 利用参数确定后的磁致伸缩阵列传感器,提供了一种使用 $L(0,2)$ 纵向模态检测管道缺陷的方法:

[0035] 图7为纵向模态磁致伸缩阵列传感器测管道中缺陷试验系统示意图,包括高能超声激励接收装置RAM-50004、计算机5、数字示波器6、激励端阻抗匹配模块7、接收阻抗匹配模块8、前置放大模块9、纵向模态磁致伸缩阵列传感器作为激励传感器10、纵向模态磁致伸缩阵列传感器作为接收传感器11、合金钢管12。计算机5用来控制RAM-50004的运行,产生高能超声信号;RAM-50004输出数字信号至数字示波器6,数字示波器6用于信号的观测和存储,同时在接收端阻抗匹配模块8输出端配置前置放大模块9,实现传感器接收信号的放大;

为了使传感器线圈从激励电源获取最大能量,增强传感器换能效率,在激励传感器10和接收传感器11前添加了激励端阻抗匹配模块7和接收端阻抗匹配模块8。前置放大模块9和激励端阻抗匹配模块7分别与RAM-50004的输入端和输出端相连;激励传感器10和接收传感器11都为纵向模态磁致伸缩阵列传感器,激励传感器10置于距离检测对象合金钢管12左端500mm,接收传感器11位于激励传感器10右侧,两者相距800mm,人工模拟轴向槽状缺陷13位于距离管道左端300mm处,长度为12mm,宽度为2mm,深度为4mm;

[0036] 利用RAM-50004产生高能量信号激励纵向模态磁致伸缩阵列传感器10,在带有缺陷的合金钢管12中激励出纵向模态 $L(0,2)$,根据波传播的路程,可以预测纵向模态磁致伸缩阵列传感器11依次接收到激励传感器直达波,缺陷反射回波,左端面的反射回波,右端面的反射回波。

[0037] 首先根据上述参数所确定的纵向模态磁致伸缩阵列传感器结构,试验验证研制的纵向模态磁致伸缩阵列传感器能有效产生纵向模态 $L(0,2)$ 。激励信号为经汉宁窗调制的5周期正弦波,图9为激励频率在270kHz时接收信号波形,可以分辨5个回波波包,波包14为传感器激励时产生串扰信号,与激励信号的时间几乎一致;波包15为接收传感器接收到的直达波信号;激励和接收传感器相距800mm,利用时间飞行法(Time of Flight,ToF),计算波包15的实际传播速度或群速度 $v_g = 2d/t = 4997.0\text{m/s}$ 。由使用商用Disperse软件得到群速度的频散曲线图6可知, $L(0,2)$ 模态在合金钢管12中270kHz频率点处的理论群速度5061.0m/s,与通过试验计算得到实际传播速度 v_g 相比,相对误差为1.2%,可以确定设计的纵向模态磁致伸缩阵列传感器可以激励出纵向模态 $L(0,2)$ 。

[0038] 接着,根据上述参数所确定的纵向模态磁致伸缩阵列传感器结构,试验验证研制的纵向模态磁致伸缩阵列传感器中心频率。激励信号依然为经汉宁窗调制的5周期正弦波,将激励频率以步长10kHz从200kHz增加到340kHz,提取各个频率直达波的峰值,得出纵向模态磁致伸缩阵列传感器的频率响应特性曲线如图8所示,试验数据分别用圆圈表示,通过曲线拟合,可以看出纵向模态磁致伸缩阵列传感器的实际中心频率为273kHz,与上述参数所确定的纵向模态磁致伸缩阵列传感器理论中心频率 f_c 为267kHz基本吻合,相差0.3%。

[0039] 最后,根据上述参数所确定的纵向模态磁致伸缩阵列传感器结构,试验验证研制的纵向模态磁致伸缩阵列传感器能有效检测合金钢管中存在的缺陷。通过分析图9为激励频率在270kHz时接收信号中波包16、波包17和波包18,利用波包15计算出的合金钢管12中纵向模态 $L(0,2)$ 的实际传播速度 $v_g(4997.0\text{m/s})$,来反推波包16、波包17和波包18的传播的路程分别为1183.7m、1823.0mm和2124.7mm。与实际缺陷回波的传播路程1200mm、左端面回波1800mm和右端面回波的传播路程2140mm相比,相对误差分别为1.3%、1.2%和0.7%,可以确定波包16为缺陷回波,波包17为左端面的反射回波,波包18为右端面反射回波。

[0040] 通过试验验证本发明纵向模态磁致伸缩阵列传感器可以有效激励出信噪比较高的纵向模态 $L(0,2)$,可快速有效地对合金钢管中缺陷进行检测,且定位精度较高,为进一步利用该传感器并结合相控阵原理,实现管道中缺陷二维成像奠定了基础。

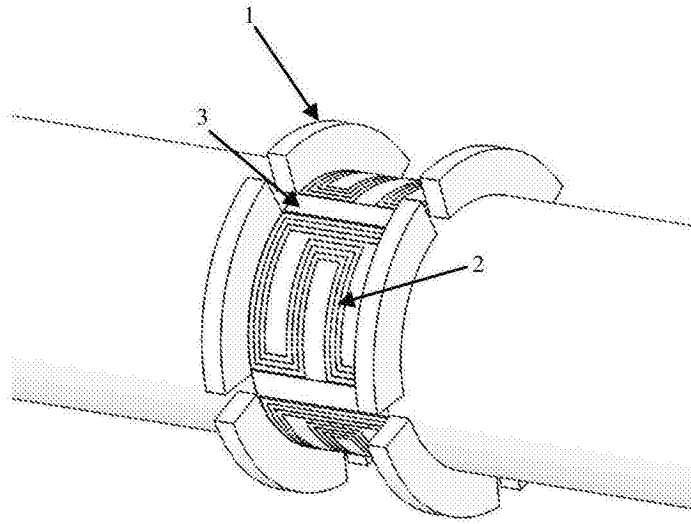


图1

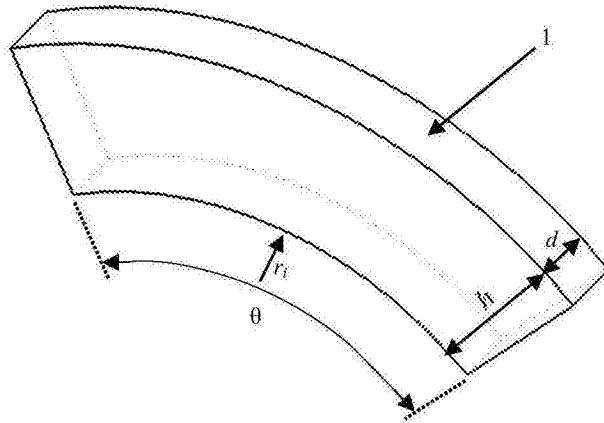


图2

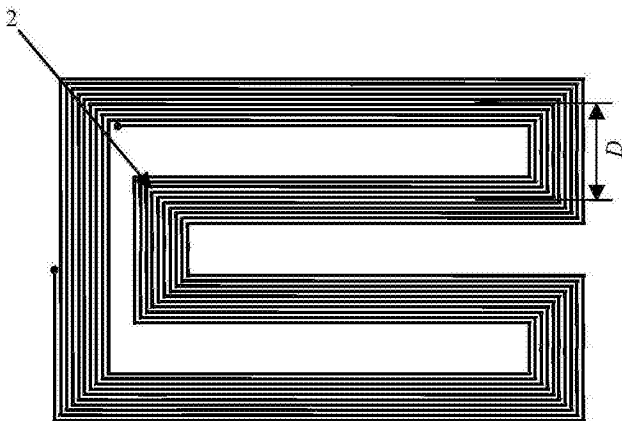


图3

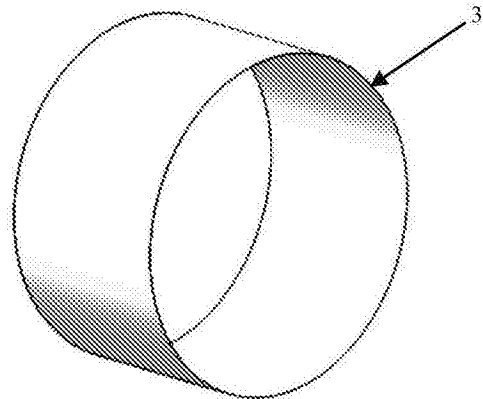


图4

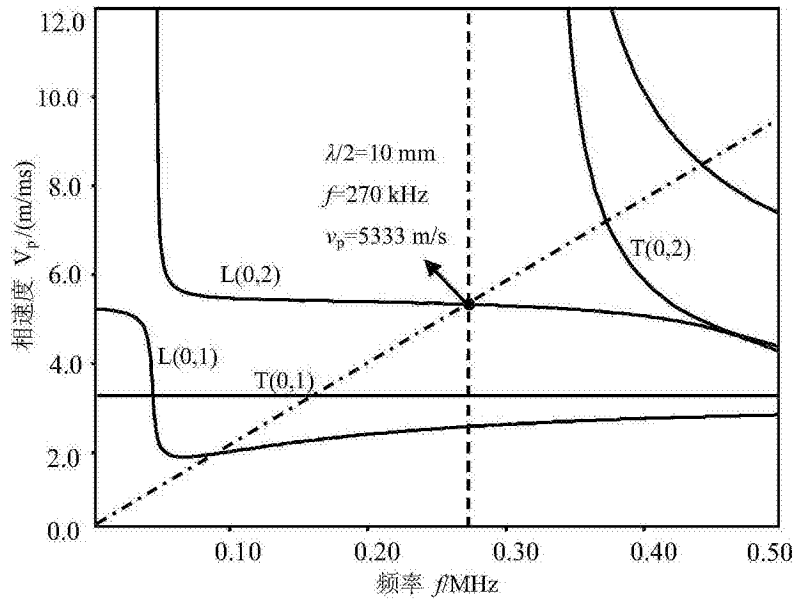


图5

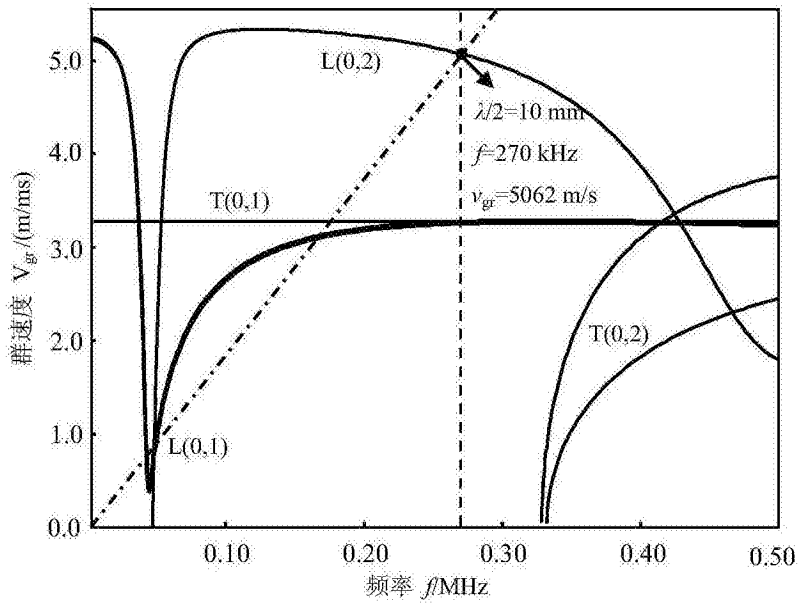


图6

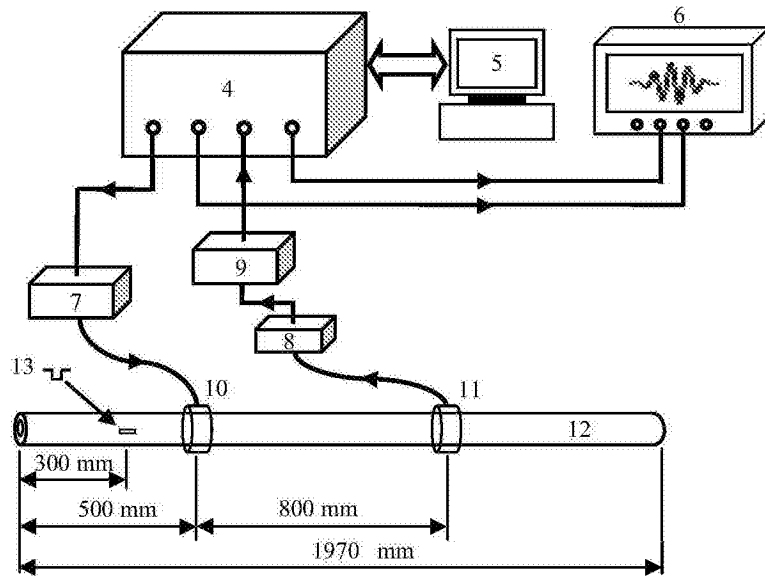


图7

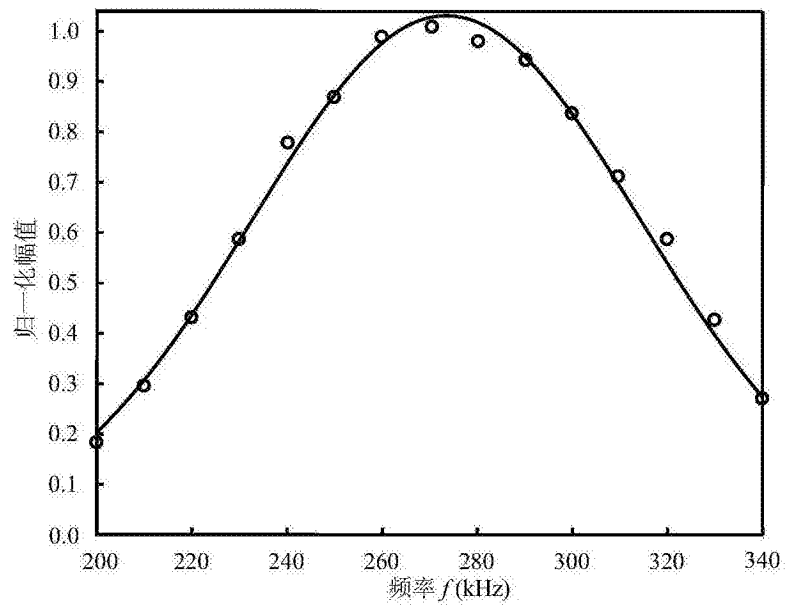


图8

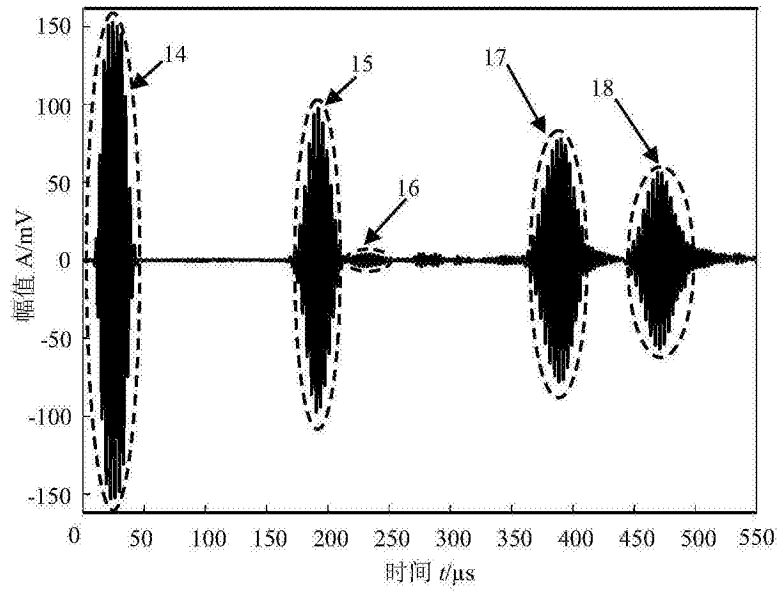


图9