



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102288533 A

(43) 申请公布日 2011. 12. 21

(21) 申请号 201110107552. 9

G01S 15/08 (2006. 01)

(22) 申请日 2011. 04. 27

(71) 申请人 北京工业大学

地址 100124 北京市朝阳区平乐园 100 号

申请人 浙江省电力试验研究院

温州电力局

(72) 发明人 焦敬品 钟茜 何存富 王炯耿

罗宏建 周重回 林群 郑昌庭

骆炫忠

(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 魏聿珠

(51) Int. Cl.

G01N 17/00 (2006. 01)

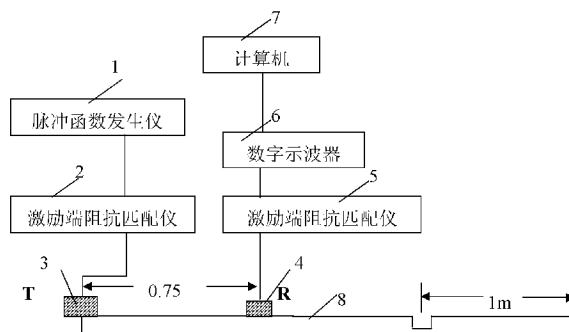
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

基于 SH0 波电力系统接地网导体的腐蚀检测装置及方法

(57) 摘要

基于 SH0 波电力系统接地网导体的腐蚀检测装置及方法,属于无损检测技术领域。脉冲函数发生仪通过激励端阻抗匹配仪后接入 SH0 波电磁声激励换能器激励出无频散,模态单一,方向性好,能量大的 SH0 波;在接地网导体长度方向中心轴线上放置 SH0 波电磁声激励换能器 3 和 SH0 波电磁声接收换能器 4,激励频率为传感器工作能量最大的频率,利用此中心频率下的产生的 SH0 波对接地网导体腐蚀进行无损检测。本发明解决了接地网导体腐蚀检测不太完善以及利用兰姆波检测金属构件实施不便利,兰姆波多模态、频散、边界效应明显易发生模态转换的缺点,此无损检测方法能长距离、快速、全面、在役无损检测,并推广到窄条金属结构腐蚀的无损检测。



1. 基于 SH0 波电力系统接地网导体的腐蚀检测装置,其特征在於:包括:脉冲函数发生仪 1、数字示波器 6 和计算机 7, SH0 波电磁声激励换能器 3、SH0 波电磁声接收换能器 4 放置在接地网导体 8 上,SH0 波电磁声激励换能器 3 和激励端阻抗匹配仪 2 相连接,激励端阻抗匹配仪 2 和脉冲函数发生仪 1 相连接,SH0 波电磁声接收换能器 4 与接收端阻抗匹配仪 5 相连接,接收端阻抗匹配仪 5 和数字示波器 6 相连接,计算机 7 和数字示波器 6 连接;

2. 根据权利要求 1 所述的基于 SH0 波电力系统接地网导体的腐蚀检测装置的检测方法,其特征在於:包括以下步骤:

步骤 1):由脉冲函数发生仪 1 产生一个周期在 1 ~ 20 范围内可调,中心频率在 0 ~ 1MHz 范围内可调的方波信号,在 0 ~ 1MHz 范围内改变频率,激励使 SH0 波电磁声激励换能器 3 产生信号能量在此范围内的最大值点,则此时的频率即为脉冲函数发生仪工作频率;

步骤 2):上述的方波信号经脉冲函数发生仪 1 进入激励端阻抗匹配仪 2 后,传入 SH0 波电磁声激励换能器 3,SH0 波电磁声接收换能器 4 接收由 SH0 波电磁声激励换能器 3 在接地网导体 8 中传播的信号,经过接收端阻抗匹配仪 5 在示波器 6 上显示,并存储到计算机 7 中,利用一维小波包分析方法对接收到的时域信号进行消噪处理,确认直达波包,端面回波,腐蚀波包等,根据直达波包到达的时间 t_1 ,SH0 波电磁声激励换能器 3 和 SH0 波电磁声接收换能器 4 之间的间距 d ,再根据 SH0 波在接地网导体 8 中传播的群速度 $v = d/t_1$,以及腐蚀波包到达的时间 t_2 ,即可求得腐蚀位置 $s = v \times t_2$ 。

基于 SH0 波电力系统接地网导体的腐蚀检测装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于超声导波无损检测领域,具体涉及一种利用 SH0(水平剪切)波检测电力系统接地网导体腐蚀的方法。

背景技术

[0002] 变电站的接地是在电气设备和大地之间的连接,使电气设备能保持在同一电位,是保证电力系统安全可靠运行的重要措施。一般的作法是敷设接地网。接地网导体长期运行容易发生腐蚀,造成电力设备停止工作,甚至造成电力系统瘫痪。因此,研究接地网腐蚀状况具有重要的社会效益和经济效益。

[0003] 接地网导体常用截面为长方形 6mm×60mm 并稍带纯边的的镀锌扁钢或 $\Phi 20$ mm 的圆钢水平敷设搭接而成,排列成长孔型或方孔型,埋入地下 0.5m ~ 0.8m。但是由于接地网埋设在地下,材料变脆、起层、松散,甚至会出现多处断裂,特别是埋设在酸碱性较强土壤中的接地体,腐蚀更是严重。接地网导体寿命一般为 8 ~ 10 年左右,需要及时诊断出接地网的断点和腐蚀段并采取修复措施。

[0004] 针对接地网导体腐蚀检测,目前国内主要有三种腐蚀诊断方法:基于电路理论的方法和基于电磁场的方法,电化学分析法。前两种方法能在不停电和不接地网大面积开挖的情况下,对地网的断点和腐蚀情况进行检测。张晓玲等学者在 2002 年《电力系统及其自动化学报》发表的文章“电力系统接地网故障诊断电路法”通过采用单纯形法求解接地网中各段导体的电阻增量,但是诊断结果很不精确;Michaloudaki 等学者在 2005 年《Magnetics》发表的文章“Diagnosis of breaks in substations grounding grid by using the electromagnetic method”通过电磁场的方法检测了导体的断裂位置,但是对于未发生断裂的接地网并不能确定其腐蚀程度;对接地网电化学防蚀方法受接地网的复杂性及现场实施条件的限制,我国目前尚未有成熟技术的工业应用。

[0005] 这些已发表或公开的研究成果未很好的解决接地网导体腐蚀检测问题。而板类结构中传播的超声波类型有:兰姆波、SH 波、瑞利波等。国内外利用超声波检测金属结构腐蚀已进行了广泛的研究,证实了超声波用于腐蚀检测的可行性及发展潜力。它是一种无损检测的方法。ZQ Su 等学者 2006 年在《Journal of Sound and Vibration》发表“Guided Lamb waves for identification of damage in composite structures”通过复杂的小波指纹数字信号处理方法分析了靶体外形航天飞机金属构件的腐蚀波包;2007 年, N Terrien 等学者在《AIP Conference Proceedings》发表了一篇“Optimization of hidden corrosion detection in aircraft structures using Lamb waves: numerical predictions and experimental results”,实验用斜探头产生兰姆波检测航空材料局部腐蚀,研究发现兰姆波与腐蚀处作用会发生模态转换和模态叠加,需要应用模态分离技术和二维短时傅里叶变换处理模态叠加的问题,并且斜探头实验需要对试件表面进行预处理,通过耦合剂与被测件接触,操作麻烦,检测效率较低。

[0006] 接地网导体结构为窄条型,利用兰姆波检测易发生模态叠加和模态转换,表面受

地底腐蚀液等影响。目前国内外尚无人利用超声波对接地网导体腐蚀检测进行过相关研究。本发明中采用的一种新型的电磁超声检测技术具有非接触、无需耦合和对被检工件表面要求不高等优点,并能很好的克服兰姆波多模态、频散、边界容易发生模态转换等缺点。电磁超声换能器 (Electromagnetic Acoustic Transducer, EMAT) 由线圈和磁铁构成,接地网导体又属于铁磁性材料,三者结合,检测方便。并且电磁超声换能器能够十分容易产生 SH 波,产生的一种 SH₀ (水平剪切) 波是质点振动 (位移和速度) 都在位于平行于层面的平面中的波,不频散,具有在不同厚度的钢板中波速基本不发生变化特点。SH₀ 波从平行于偏振方向的表面反射时,不会转化为其他类型的波,其传输系数也远远高于其他波型,衰减弱,因此利于长距离检测。SH₀ 传感器产生的声场,声束扩散角小,易控制,能够应用于宽度大于传感器的窄条结构检测,检测结果不受结构边界的影响。

发明内容

[0007] 本发明的目的是为了解决快速、全面、在役无损检测接地网导体腐蚀的问题。为及时诊断出接地网的断点和腐蚀段并采取修复措施,提出了一种利用 SH₀ (水平剪切) 波检测电力系统接地网导体腐蚀无损检测的方法。

[0008] 本发明采用如下技术方案,基于 SH₀ 波电力系统接地网导体的腐蚀检测装置:包括:脉冲函数发生仪 1、数字示波器 6 和计算机 7,SH₀ 波电磁声激励换能器 3、SH₀ 波电磁声接收换能器 4 放置在接地网导体 8 上,SH₀ 波电磁声激励换能器 3 和激励端阻抗匹配仪 2 相连接,激励端阻抗匹配仪 2 和脉冲函数发生仪 1 相连接,SH₀ 波电磁声接收换能器 4 与接收端阻抗匹配仪 5 相连接,接收端阻抗匹配仪 5 和数字示波器 6 相连接,计算机 7 和数字示波器 6 连接;

[0009] 本发明的技术方案具体包括以下步骤:

[0010] 步骤 1):由脉冲函数发生仪 1 产生一个周期在 1 ~ 20 范围内可调,中心频率在 0 ~ 1MHz 范围内可调的方波信号,在 0 ~ 1MHz 范围内改变频率,激励使 SH₀ 波电磁声激励换能器 3 产生信号能量在此范围内的最大值点,则此时的频率即为脉冲函数发生仪工作频率;

[0011] 步骤 2):上述的方波信号经脉冲函数发生仪 1 进入激励端阻抗匹配仪 2 后,传入 SH₀ 波电磁声激励换能器 3,SH₀ 波电磁声接收换能器 4 接收由 SH₀ 波电磁声激励换能器 3 在接地网导体 8 中传播的信号,经过接收端阻抗匹配仪 5 在示波器 6 上显示,并存储到计算机 7 中,利用一维小波包分析方法对接收到的时域信号进行消噪处理,确认直达波包,端面回波,腐蚀波包等,根据直达波包到达的时间 t_1 ,SH₀ 波电磁声激励换能器 3 和 SH₀ 波电磁声接收换能器 4 之间的间距 d ,再根据 SH₀ 波在接地网导体 8 中传播的群速度 $v = d/t$,以及腐蚀波包到达的时间 t_2 ,即可求得腐蚀位置 $s = v \times t_2$ 。

[0012] 本发明具有以下优点:1) 本发明提出了一种通过超声波对接地网导体腐蚀检测的方法。它是一种无损检测的方法,利用超声波的技术不需要对结构进行任何破坏,即可实现检测,而且可以进行在线检测,无需使整个电力系统停电和对接地网进行大面积开挖;2) 相比兰姆波超声检测腐蚀的方法,电磁声检测技术检测接地网导体腐蚀,检测过程无需耦合剂,检测方便,劳动强度低,检测结果信噪比高,能精确定位腐蚀;3) 采用的 SH₀ 波检测接地网窄条结构,避免了边界回波的出现,不会发生模态转换,波包简单,衰减弱,检测距离

长。

附图说明

- [0013] 图 1 :接地网导体腐蚀检测装置示意图 ;
- [0014] 图 2 :接地网导体斜探头检测装置示意图 ;
- [0015] 图 3 :5.8mm 厚 4m 长接地网导体中 SH 波频散曲线 ;
- [0016] 图 4 :5.8mm 厚 4m 长接地网导体中兰姆波频散曲线 ;
- [0017] 图 5 :5.8mm 厚接地网导体中的 S_0 模态位移波结构图 ;
- [0018] 图 6 :5.8mm 厚接地网导体中的 A_0 模态位移波结构图 ;
- [0019] 图 7 :图 7 5.8mm 厚接地网导体中的 SH0 波位移波结构图 ;
- [0020] 图 8 :图 8 SH0 波传感器检测 4m 带缺陷接地网导体接收波形 ;
- [0021] 图 9 :图 9 SH0 波传感器检测 4m 带缺陷接地网导体小波降噪后波形 ;
- [0022] 图 10 :频率为 0.5MHz、间距为 0.3m 的斜探头检测 4m 接地网导体接收信号波形 ;
- [0023] 图 11 :频率为 0.5MHz、间距为 0.5m 的斜探头检测 4m 接地网导体接收信号波形 ;
- [0024] 图 12 :1mm 厚自由铝板中模态的群速度曲线 ;
- [0025] 图 13 :1mm 厚自由铝板中模态的相速度曲线 ;
- [0026] 图 14 :SH0 波传感器检测 1mm 厚宽铝板接收信号 ;
- [0027] 图 15 :SH0 波传感器检测 1mm 厚宽铝板小波降噪后信号 ;
- [0028] 图 16 :SH0 波传感器检测 7cm 铝窄条接收信号 ;
- [0029] 图 17 :SH0 波传感器检测 7cm 铝窄条小波降噪后信号 ;
- [0030] 图 18 :图 18 间距为 30cm 斜探头在 1mm 厚宽铝板激励出频率 460kHz 的 S_0 模态波形 ;
- [0031] 图 19 :间距为 50cm 斜探头在 1mm 厚宽铝板激励出频率 460kHz 的 S_0 模态波形 ;
- [0032] 图 20 :间距为 30cm 斜探头在 1mm 厚 7cm 宽窄铝条激励出多个频率 500kHz 的 S_0 模态波形 ;
- [0033] 图 21 :间距为 50cm 斜探头在 1mm 厚 7cm 宽窄铝条激励出多个频率 500kHz 的 S_0 模态波形。
- [0034] 图中,1、脉冲函数发生仪,2、激励端阻抗匹配仪,3、SH0 波电磁声激励换能器,4、SH0 波电磁声接收换能器,5、接收端阻抗匹配仪 6、数字示波器,7、计算机,8、接地网导体,9、函数发生器,10、功率放大器,11、斜探头激励传感器,12、斜探头接收传感器,13、1mm 厚宽铝板,14、厚为 1mm 宽度为 $L = 7\text{cm}$ 的窄铝条。

图 5,图 6,图 7 中 :x :板厚度方向, z :板长度方向, y :垂直板长度方向 (即切向方向)
具体实施方式

[0035] 结合本发明方法的内容提供一下实施例 1,本特征在于 :对象是接地网导体。提供了一种用 SH0 波电磁超声无损检测接地网导体方法 :

[0036] 实施例 1 :

[0037] (1) 如图 1 所示,接地网导体 8 长度方向中心轴线上放置 SH0 波电磁声激励换能器 3 和 SH0 波电磁声接收换能器 4。SH0 波电磁声激励换能器 3 和激励端阻抗匹配仪 2 相连接,激励端阻抗匹配仪 2 和脉冲函数发生仪 1 相连接,SH0 波电磁声接收换能器 4 与接收

端阻抗匹配仪 5 相连接,接收端阻抗匹配仪 5 和数字示波器 6 相连接,计算机 7 和数字示波器 6 连接。将 SH0 波电磁声激励换能器 3 位于板最左端(一半传感器吸附在接地网导体上),SH0 波电磁声接收换能器 4 位于距离板左端 0.75m,人工缺陷模拟腐蚀位于距离接地网导体右端 1m 处。本实施例中的接地网导体 5,全长 4m,截面为 6mm×60mm 长方形,密度为 7.9g/cm³,泊松比为 0.31。图 3 给出了上述参数的 5.8mm 厚 4m 长接地网导体中 SH 波频散曲线,SH0 波群速度不随频率变化,没有频散;图 4 中兰姆波模态复杂,0~0.5MHz 范围 S₀ 模态频散大,兰姆波碰到缺陷通常发生模态转换或者模态叠加。频率为 0.46MHz,S₀ 波速为 1980m/s,频率为 0.5MHz,A₀ 波速为 3202m/s,SH0 波速为 3260m/s,不随频率变化。图 5 给出 0.46MHz 频率下 S₀ 模态位移波结构图,图 6 为 0.5MHz 频率下 A₀ 模态位移波结构图,图 7 为 0.31MHz 频率下 SH0 波位移波结构图。S₀、A₀ 在板上下表面处沿板传播方向(z 方向)及板厚度方向(x 方向)位移都比较大,搁置于土壤环境,超声波传播时沿板上下表面容易发生衰减。而 SH0 波沿板传播方向(z 方向)及板厚度方向(x 方向)位移都为 0,只存在垂直于板传播方向(y 方向)的切向位移,综上确立超声波检测选择 SH0 波检测接地网导体腐蚀。由图 3 在频率 0~310kHz 范围内,仅存在 SH0 波和 SH1 波,并且两者模态速度差距甚大,波包易于识别;

[0038] (2) 由脉冲函数发生器 1 产生一个周期在 1~20 范围内可调,中心频率在 0~1MHz 范围内可调的方波信号,在 0~1MHz 范围内改变频率,激励使 SH0 波电磁声激励换能器 3 产生信号能量在此范围内的处于最大值,对应此时的频率为 0.31MHz,则选取为脉冲函数发生器工作频率。方波信号的强度和增益等都会对超声导波产生影响。在本实施中,由脉冲函数发生器产生能量等级 15,增益 40db,频率为 0.31MHz 的 3 个震荡周期的方波信号;

[0039] (3) 激励信号通过激励端阻抗匹配仪 2 激励 SH0 波电磁声激励换能器 3,在带腐蚀缺陷接地网导体 8 中激励 SH0 波;

[0040] (4) 激励的 SH0 波信号在接地网导体 8 中传播,经缺陷和接地网端部反射后,SH0 波电磁声接收换能器 4 通过接收阻抗匹配仪 5,在数字示波器 6 显示,并通过以太网端口存储到计算机 7;

[0041] (5) 频率 0.31MHz 时,在带腐蚀缺陷接地网导体 8 中接收到的波形如图 8。利用一维小波包分析方法对接收到的信号进行消噪处理,得到消噪后的波形如图 9。选择的小波函数为 db40(Daubechies)小波,对该信号进行 6 层分解;

[0042] (6) 通过分析消噪后的信号中的反射回波到达接收点的时间,确定接地网导体 8 中腐蚀位置。图 8 中分辨出第一回波为直达波,由第一回波的时间位置为 0.240ms,估算 0.31MHz 时 SH0 实际波速为 3125m/s,与理论的 SH0 波速的误差仅为 4.14%。因此分辨出第三回波为为接地网导体右端面回波,第二回波为腐蚀波包,第二回波时间位置为 1.667ms,根据波速乘以时间可以确定传播的距离,可知时间 1.142ms 时得到缺陷的位置为距离激励传感器 2.98m,与腐蚀的实际位置相对误差仅为 0.773%;利用 SH0 波反射回波衰减弱,根据腐蚀波包的幅值还能分辨腐蚀大小,形状;

[0043] 装置 2,图 2 中包括:函数发生器 9、功率放大器 10、由斜探头,楔块组成的压电激励传感器 11、压电接收传感器 12 放置在接地网导体 8 上,压电激励传感器 11 和功率放大器 10 相连接,函数发生器 9 的输出端和功率放大器 10 的输入端连接,压电接收传感器 12 与数字示波器 6 相连接,计算机 7 和数字示波器 6 连接;

[0044] 利用装置如图 2, 给出利用兰姆波检测接地网导体腐蚀的方法以及实验结果。

[0045] (1) 将斜探头激励传感器 11、斜探头接收传感器 12 放置在接地网导体 8 上, 组成实验装置图 2;

[0046] (2) 由函数发生器 9 产生一个中心频率在 0 ~ 5MHz 范围内可调的窄带脉冲, 窄带脉冲的类型、频率、强度和脉冲间隔等都会对超声导波产生影响。在本实施中, 由函数发生器 2 产生峰峰值为 250mV 的经汉宁窗调制的 5 个震荡周期的正弦信号, 选择的频率为 0.5MHz。这些窄带脉冲激励间隔取 100ms;

[0047] (3) 激励信号经功率放大器 10 进行功率放大, 峰峰值达到 250V; 通过 90° 楔块, 斜探头激励传感器 11 在接地网导体 8 中激励出频率为 0.5MHz 的兰姆波;

[0048] (4) 激励的兰姆波信号在接地网导体 8 中传播, 传播距离为 0.3m 时接收信号如图 10, 在数字示波器 6 显示, 并通过以太网端口存储到计算机 7; 同样通过 90° 楔块, 斜探头距离为 0.5m 时接收信号如图 11;

[0049] (5) 图 10 可知第一回波为直达波 A_0 模态, 时间位置为 115 μ s, 图 11 第一回波到达时间为 184 μ s。计算 A_0 模态的群速度约为 2899m/s, 与理论速度 3193m/s, 相对误差为 9.2%, 接收信号波包复杂, 发生严重模态转换和模态叠加。

[0050] 因此采用 SH0 波检测接地网腐蚀, 避免了兰姆波检测受边界影响发生模态转换, 模态叠加的缺点, 波包简单, 衰减弱, 检测距离长。

[0051] 实施例 2:

[0052] 结合本发明方法的内容提供实施例 2, 作用对象是厚为 1mm 的宽铝板。同样利用实施例 1 中图 1 装置, 接地网导体 8 变成宽铝板 13:

[0053] (1) 宽铝板 13 长度方向中心轴线上放置 SH0 波电磁声激励换能器 3 和 SH0 波电磁声接收换能器 4。将 SH0 波 EMAT 激励传感器 3 位于板最左端 (一半传感器搁置在宽铝板 13 上)。SH0 波电磁声接收换能器 4 搁置距离激励传感器 0.5m 处。本实施例中的铝板 13, 全长 1m, 截面为 1mm \times 20cm 长方形, 密度为 2.7g/cm³, 泊松比为 0.33。图 12 给出了上述参数的 1mm 厚自由铝板中模态的群速度曲线。由 disperse 软件得到 S_0 波速为 5376m/s, A_0 波速为 3131m/s, SH0 波速为 3130m/s。图 12 中 SH0 波群速度不随频率变化, 没有频散;

[0054] (2) 由脉冲函数发生仪 2 产生一个中心频率在 0 ~ 1MHz 范围内可调的方波信号, 方波信号的频率、强度和增益等都会对超声导波产生影响。在本实施中, 由脉冲函数发生仪产生能量等级 15, 增益 40db, 频率为 0.31MHz 的 3 个震荡周期的方波信号;

[0055] (3) 激励信号经过激励端阻抗分析仪 2 激励 SH0 波电磁声激励换能器 3, 在宽铝板 13 中激励 SH0 波;

[0056] (4) 激励的 SH0 波信号在宽铝板 13 中传播, 经宽铝板 13 端部反射后, 通过 SH0 波电磁声接收换能器 4, 在数字示波器 6 显示, 并通过以太网端口存储到计算机 7;

[0057] (5) 频率 0.31MHz 时, 在宽铝板 13 中接收到的原始波形如图 14, 利用一维小波包分析方法消噪后的波形如图 15。选择的小波函数为 db40 (Daubechies) 小波, 对该信号进行 6 层分解。

[0058] (6) 分析消噪后的信号中的反射回波到达接收点的时间: 图 15 第一回波的时间位置为 0.168ms, 0.31MHz 时铝板中估算 SH0 实际波速为 2976m/s, 与理论的 SH0 波速的误差仅为 4.92%。同样分析第二回波为右端面回波。

[0059] 利用实验装置如图 2, 给出利用兰姆波检测宽铝板的方法以及实验结果。

[0060] (1) 将斜探头激励传感器 11、斜探头接收传感器 12 放置在宽铝板 13 中;

[0061] (2) 由函数发生器 9 产生一个中心频率在 $0 \sim 5\text{MHz}$ 范围内可调的窄带脉冲, 窄带脉冲的类型、频率、强度和脉冲间隔等都会对超声导波产生影响。在本实施中, 由函数发生器 9 产生峰峰值为 250mV 的经汉宁窗调制的 5 个震荡周期的正弦信号, 选择的频率有两种: 0.46MHz 和 0.9MHz 。这些窄带脉冲激励间隔取 100ms ;

[0062] (3) 激励信号经功率放大器 3 进行功率放大, 峰峰值达到 250V ; 通过 30° 楔块, 斜探头激励传感器 11 在宽铝板 13 中激励出频率为 0.46MHz 的 S_0 模态;

[0063] (4) 激励的 S_0 模态信号在宽铝板 13 中传播, 传播距离为 30cm 时接收信号如图 18, 在数字示波器 6 显示, 并通过以太网端口存储到计算机 7; 传播距离为 50cm 时同样接收信号如图 19;

[0064] (5) 综合图 18, 图 19, 可知激励出 S_0 模态。在图 19 中第一回波为 S_0 模态对应时间位置为 $103.9 \mu\text{s}$ 。计算出 S_0 模态的群速度约为 5500m/s , 与理论速度相对误差仅为 2.94% ; 同样通过 90° 楔块, 在宽铝板 13 中激励 0.9MHz 的 A_0 模态情况类似。

[0065] 实施例 3:

[0066] 作用对象是厚为 1mm 宽为 7cm 的铝窄条。

[0067] (1) 同样利用装置图 1, 对象变成宽为 $L = 7\text{cm}$ 窄铝条 14。将 SH_0 波电磁声激励换能器 3 放置于宽为 $L = 7\text{cm}$ 窄铝条 14 上。 SH_0 波电磁声激励换能器 3 位于距离铝条左端 35cm 处, SH_0 波电磁声激励换能器 3 和 SH_0 波电磁声接收换能器 4 间距保持 25cm 。宽为 $L = 7\text{cm}$ 窄铝条 14 接收波形如图 16, 杂波少, 回波清晰简单, 不会发生模态转换, 信噪比高。利用一维小波包分析方法消噪后的波形如图 17。综合实施例 2 中图 14 和实施例 3 中的图 16, 图 14 和图 16 波形基本一样; 直达波, 右端面回波到达时间基本一致, 幅值影响属于实验误差范围之内。

[0068] 利用实验装置 2, 给出利用兰姆波检测宽铝板和铝窄条的方法和实验结果。

[0069] 实验装置 2 中, 接地网导体 8 变成厚为 1mm , 宽为 $L = 7\text{cm}$ 窄铝条 14:

[0070] (2) 利用装置 2 中对象换为宽为 $L = 7\text{cm}$ 窄铝条 14 上, 斜探头间距保持 30cm , 接收的波形如图 20。分析图 20 中第一波包为直达波 S_0 模态, 第二波包、第三波包为边界反射回波 S_0 模态或者模态转换为别的模态, 杂波多, 信噪比差。同样斜探头间距 50cm 时接收波形如图 21, 波包一、波包二、波包三皆为 S_0 模态, 跟随的很多小波包属于 S_0 模态碰到边界发生模态转换产生。利用兰姆波检测实验边界效应明显, 回波复杂, 发生模态转换, 信噪比差, 不利于窄条结构腐蚀检测。

[0071] 综合实施例 2 和实施例 3, 实验上验证 SH_0 波电磁声换能器方便应用于类似接地网导体结构的窄条金属的检测的可行性, 提供了一种利用 SH_0 波电磁超声检测类似于接地网导体结构的铝窄条的方法。

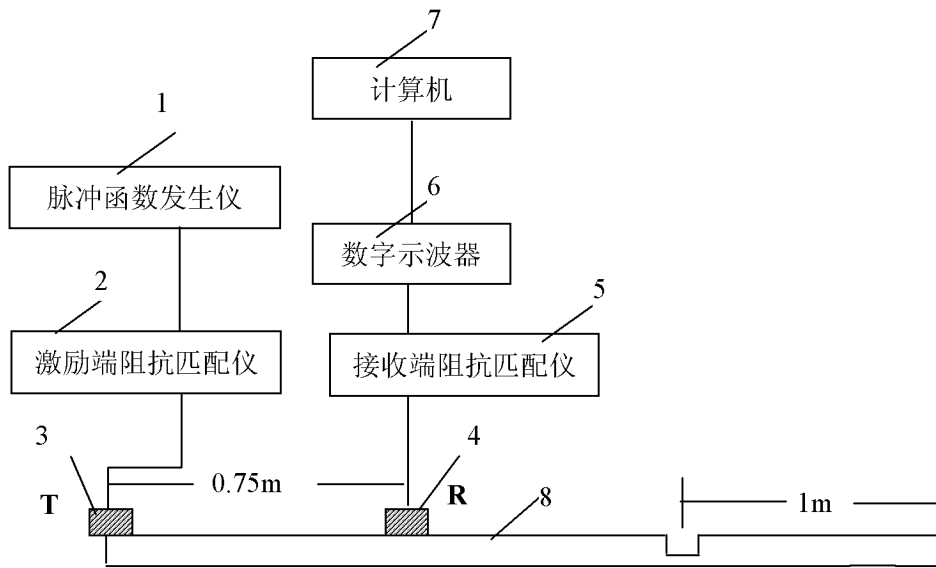


图 1

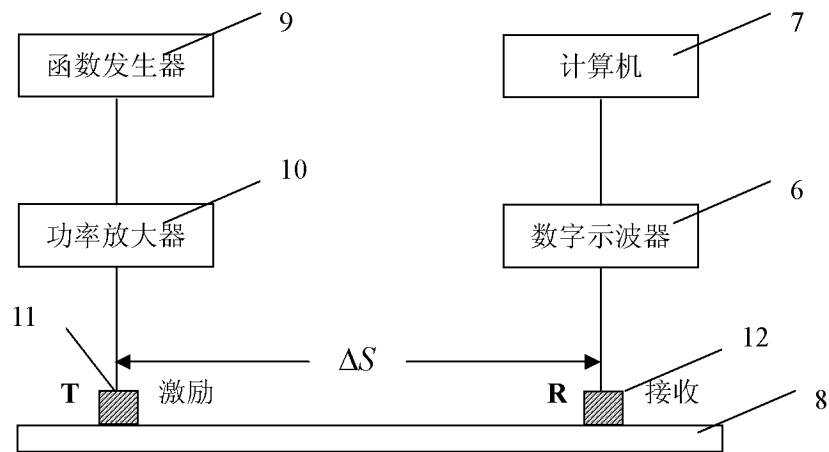


图 2

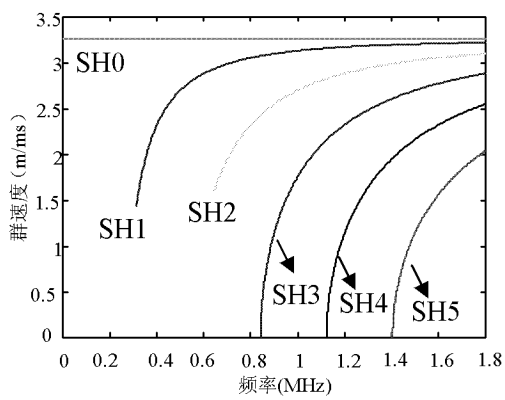


图 3

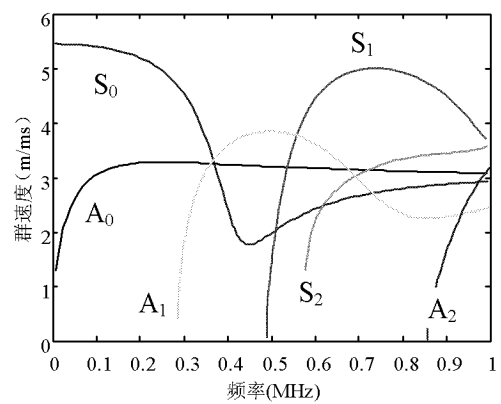


图 4

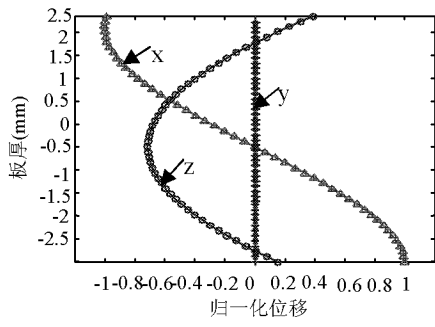


图 5

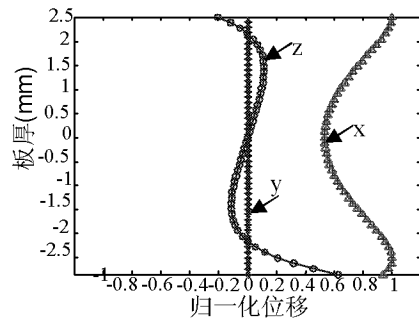


图 6

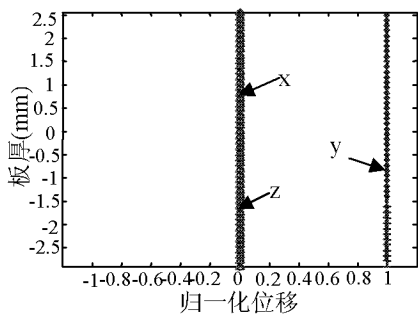


图 7

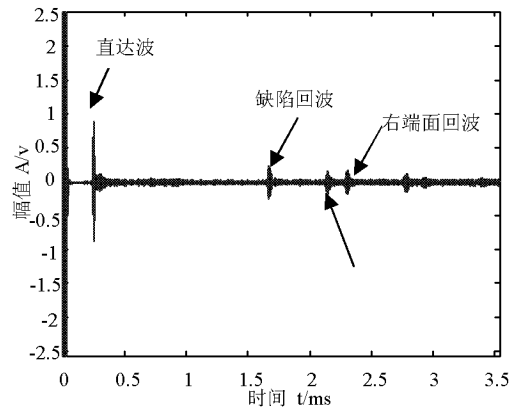


图 8

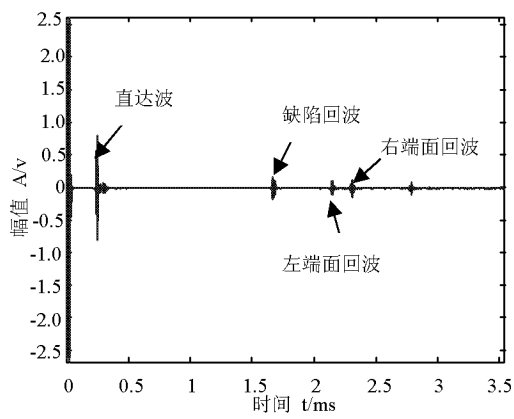


图 9

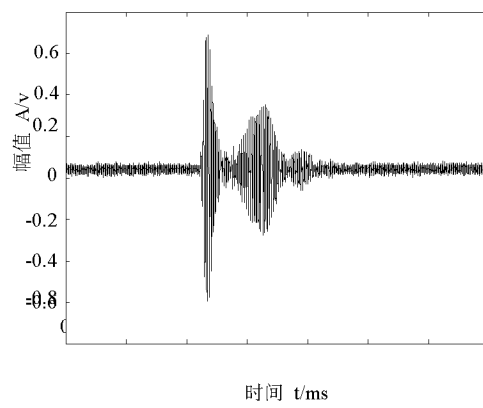


图 10

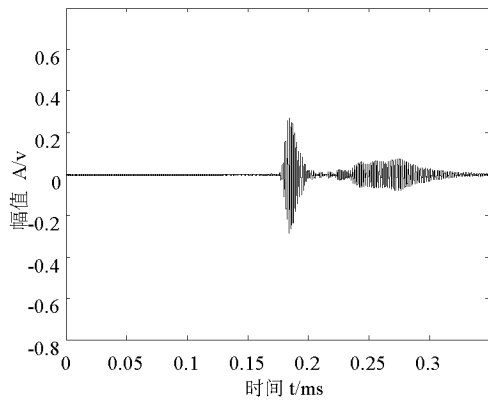


图 11

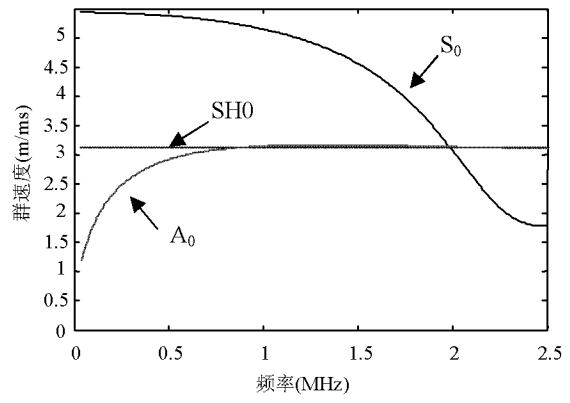


图 12

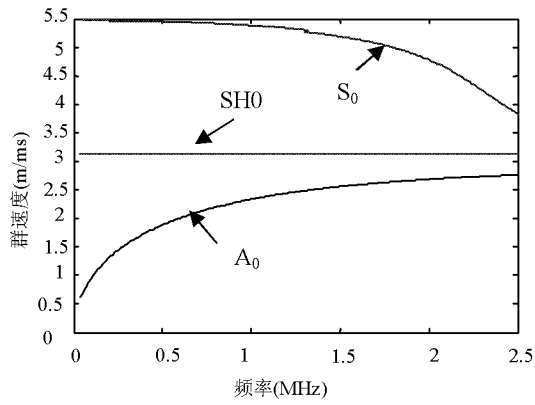


图 13

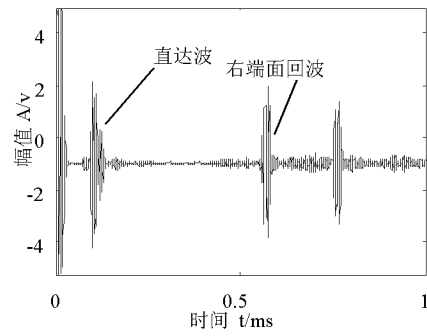


图 14

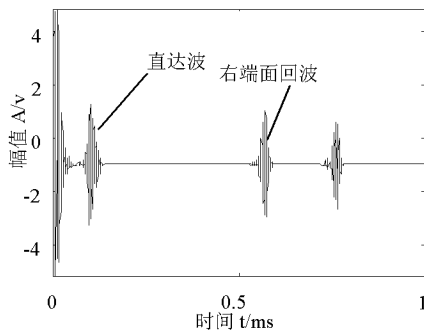


图 15

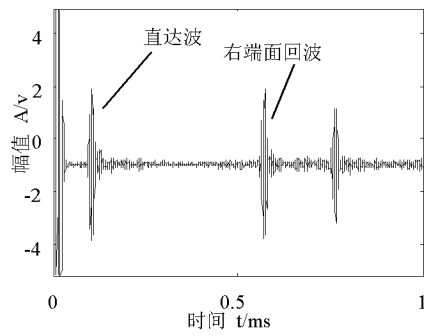


图 16

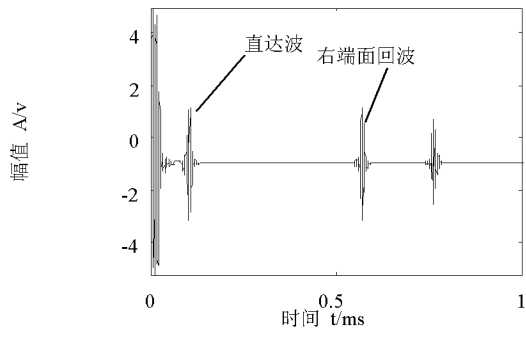


图 17

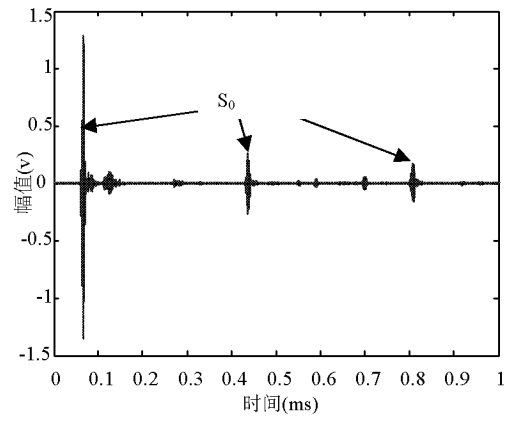


图 18

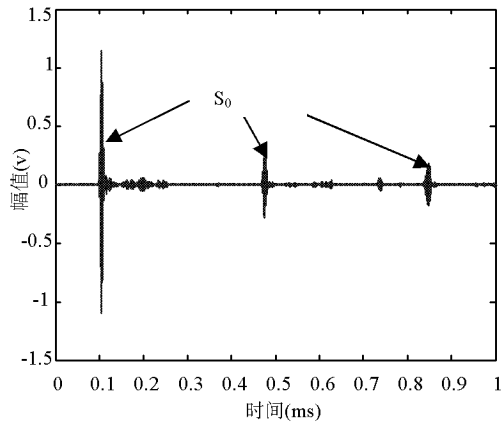


图 19

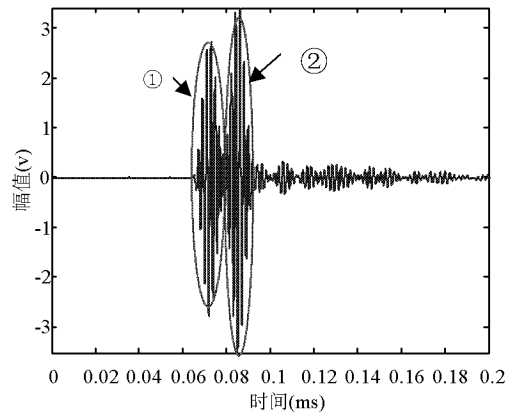


图 20

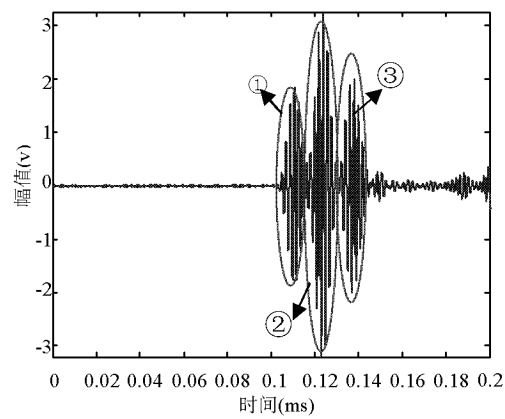


图 21