

基于超声无损检测对管道沉积物参数的分析

宗堃^{1,2}, 张栋臣², CHATI Farid¹, LEON Fernand¹

(1. 法国诺曼底勒阿弗尔大学 声波与复杂介质国家实验室, 勒阿弗尔 法国 76600;

2. 青岛科技大学 自动化与电子工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:介绍了基于兰姆(Lamb)导向声波的对钢管中非对称沉积物体积参数的分析方法。通过收发分置的超声波换能器构建实验环境,分析散射曲线,获取合适的频率。最后利用该检测声波,使其在多个拥有各类体积参数沉积物的钢管内传播,进而通过换能器得到多组实验数据,并得出输出信号的幅值大小会随着沉积物体积的增加而减少的实验结果。

关键词:兰姆(Lamb)导向声波;收发分置;叉指换能器;聚偏氟乙烯(PVDF);散射曲线

中图分类号:TN384;O426.2;TB553;TV698.1+5 **文献标识码:**A **DOI:**10.11977/j.issn.1004-2474.2018.03.016

Analysis of Pipeline Inner Sediment Parameters Based on Ultrasonic Nondestructive Testing

ZONG Kun^{1,2}, ZHANG Dongchen², CHATI Farid¹, LEON Fernand¹

(1. Laboratory of Waves and Complex Media(UMR CNRS 6294), University of Le Havre Normandy, Le Havre 76600, France;

2. College of Automation and Electronics Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: In this paper, the method of analyzing the volume parameters of asymmetric sediments in steel pipes based on Lamb guided wave is introduced. The experimental environment is constructed by the bistatic ultrasonic transducer, and the scattering curve is analyzed to obtain the appropriate frequency. Finally, the detection wave is used to propagate in the pipes with various volume parameters, and then the multi-group experimental data are obtained by the transducer, and the experimental results that the amplitude of the output signals decreases with the increase of the volume of sediment have been obtained.

Key words: Lamb guided wave; bistatic; interdigital transducer; PVDF; scattering curve

0 引言

由于超声波具有预测能力^[1],故而超声波检测是无损检测经常使用的一种方式,其具有广泛的应用前景和价值。从国内外学者的研究来看,人们利用兰姆(Lamb)波快速、便捷的特点,准确地了解了Lamb波的速度分布,再对其时域、频域进行分析,通过描述Lamb波色散的能力^[2]来对薄钢板进行无损检测^[3]的研究。另外,基于对水合物沉积物的动态弹性力学参数和弹性力学参数计算方法^[4-5]的广泛研究,文献^[6]还对锅炉水冷壁管沉积物的超声检测进行了较详细的综述和研究,并提出了温度对超声波检测缺陷定位定量的影响^[7]。但我们发现,在检测能源输送管道中粘性和非粘性液体造成的沉积物等方面的研究较少,且对沉积物参数的收集甚少,因此,检测能源管道的

沉积并采集沉积物相应参数对实践工程有着重大意义。

本文的研究内容是基于能源输送管道在运输粘性和非粘性液体时的应用。在运输过程中,管道内壁常会出现因粘性或非粘性液体造成的沉积而导致被输送产品流量的降低。如在可饮用水运输时产生的管道水垢,石油化工产业中管道内部固化的石油产品沉积物等。

本研究的目的是在超声波的帮助下检测沉积物并获得其主要参数。本研究主要从实验的角度,基于收发分置双换能器产生的Lamb波进行讨论。我们在实验中使用中心频率为2.25 MHz的压电换能器作为发射端,叉指换能器作为接收端。由于沉积物复杂的结构类型,首先我们分析研究Lamb波通过管壁

收稿日期:2017-10-06

基金项目:青年骨干教师出国研修基金资助项目(201507890022);留学回国人员科研启动基金资助项目(20151098)

作者简介:宗堃(1981-),男,山东青岛人,讲师,博士,主要从事超构材料、导向声波及无损检测方面的研究。

内位置轴对称且厚度相同的沉积物时的数据,然后当其通过非轴对称沉积物时再分析其相应数据,从而得出实验结论。

1 基于导向 Lamb 波传输的理论基础

我们基于 Lamb 波在真空无沉积物的内轴对称的不锈钢制管道内的相互作用,给出了轴对称模式波形在管道中传播的理论研究。轴对称模态是基于散射方程实解的。重建的散射曲线对应着根据频率变化而确定的波的特性(波数、相速度、群速度等)。而基于不锈钢管的相关力学参数我们可以给出传播的轴对称波的散射曲线。

当频率增加时,管道内声波的表现类似于 Lamb 波在平板上的传播,因此,我们可以使用波在平板上传播的概念。在这种情况下,根据基于传播平面的粒子运动的对称与否,轴对称模态的传播被分为模式 S (对称)和模式 A (反对称)两类。

波数是指每 2π 长度内,波动重复的次数,且波数与波长成反比。当波数为正时,传播方向为正方向。且轴对称模态的波数是随着频率的变化而变化。有些模态只有当频率达到某一数值时才会出现,即截止频率,当低于此频率时,声波将不会以此模态传播。

通过研究发现,当有一对称波 S_1 ,其频率接近截至频率(1.94 MHz)时,无法确定唯一的波而是会出现 2 个波数(即 2 个相速度及 2 个群速度)。事实上,在高频区 S_1 只有一个正实数波数。当频率 f 减少时,会出现一个临界频率,这时波 S_1 会发生变化。当波的群速度为负时,称为“逆行性”。

2 实验方法及过程

首先,采用一种管型双圆轴对称 Lamb 波的产生和接收方法;然后分析其散射曲线;最后,根据散射曲线选择频率为 2.565 MHz 的声波,使其在有非轴对称沉积物的管道中传播,并分析实验结果。

2.1 收发分置法

实验环境构建如下:管道为垂直放置,信号发生器为发射换能器提供了一个周期为 N 、振幅为 V_{ext} (0.5 V)、频率为 f 的正弦波激励信号。放大的激励信号由一个 2100L 型功率放大器提供。拥有较宽带宽的换能器作为发射端放置在管道的顶部,其类型为锆钛酸铅压电陶瓷(PZT)及圆形截面。实验中会使用两个换能器:第一个通带中心频率为 250 kHz,使用范围为 120~380 kHz;第二个换能器通带中心频率为 2.25 MHz,并具有 1.125~3.375 MHz 的频率使用

范围。另外,在发射器和管道之间使用耦合凝胶可以提高声耦合。为了保持管内的水不泄露,管道下端使用圆锥形橡胶塞封闭。

接收换能器使用的是叉指式超声波换能器,压电材料为压电聚合物聚偏氟乙烯(PVDF)。需要注意的是,PVDF 的电、机械和压电性能与加工条件密切相关。其具有很多的机械和电气优点,主要是与陶瓷相比,其无定形结构,它几乎是不可能高压下破坏的,在受到压力时它也不会失去其电气性能,能有效适应各种形状的自然弹性如管道的表面并拥有较大的带宽,因此具有良好的空间分辨率。另外,它的声阻抗较适合控制水下现场。但是,其有限的声学性能即较低的机电耦合系数、介电常数和灵敏度,较高的介电损耗等性质都对其应用的范围产生较高的限制,故而接收到的信号需要通过放大器显示在示波器上。一个数字总线 IEEE 将数据转移到计算机进行处理。

2.2 根据所使用的换能器精确周期数

为了减少散射对期望传播模式的影响,并防止产生不需要的频率模式,希望通过一个非常窄的通带来制造入射波。我们的换能发射器可以产生 4 个不同频率、其周期数 $N=40$ 的信号。此外,还选择了一个拥有更低频率的接触式换能器($f=220$ kHz)用于检查的时间曲线,其信号周期为 2。

2.3 分析散射曲线

根据管道的相速度(见图 1(a))的散射曲线,我们将选择模式 S_1 的 Lamb 波, $f=2.565$ MHz 时,其相速度 $c_{\text{ph}}=c_L$ (c_L 为纵波波速)。为此,我们将设计一个叉指换能器,相邻的两指之间的间隙距离等于模式 S_1 波长($\lambda_z=c_{\text{ph}}/f=2.27$ mm)。该换能器被设计用于生成和接收的轴对称模式波($N=0$)。

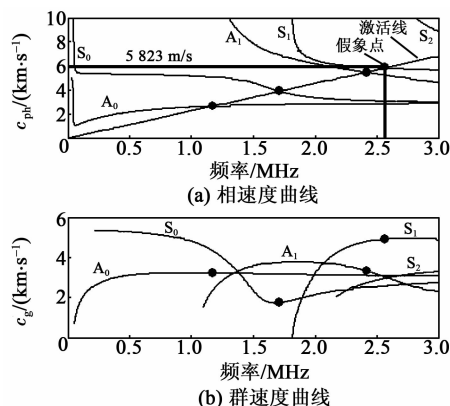


图1 相速度和群速度(c_g)曲线

穿过的原点及换能器假象点直线称为激活线。当频率发生变化时,激活线与散射曲线的交点定义为

声波的模式。通过图 1 确定不同模式下的相速度和群速度,如表 1 所示。

表 1 理论假象点上的相速度和群速度

模式	f/MHz	$c_{\text{ph}}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$c_{\text{g}}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
A_0	1.158	2 650	3 210
S_0	1.706	3 880	1 740
A_1	2.400	5 480	3 310
S_1	2.565	5 823	4 890

2.4 非轴对称沉积中 Lamb 波 S_1 的分析

实验中,使用相同的收发分置实验系统。首先,在具有完全沉积物的管道中传播 S_1 模式波;然后,将沉积物从完全保留直至保留一半,每次获取位于接触换能器(发射端)1.5 m 处的叉指换能器(接收端)的时域信号,为使信号更精确,每次改变沉积物体积后测 3 组数据;最后研究其信号的对应频谱值。沉积物前加入第 2 个叉指换能器,以便验证每次操作入射信号的准确性。

3 实验结果分析

3.1 模式波的选择

记录位于接触换能器 1.5 m 处叉指换能器收到的基于激活线中所对应频率的时域信号,如图 2 所示。由图可见,有的信号并不仅是 Lamb 波模式,而是多种模式的叠加。这些模式的回波出现的时间点是由其不同的群速度决定的。可观察到无论何种模式的声波,当以在激活线与散射曲线交点所表述的频率传播时,其振幅会达到最大。另外,当有多种模式波入射时,有一个回波信号是由于管道外壁对声波 S_0 的反射形成的。因此,通过比较信号的准确性和无干扰性,我们决定利用模式 S_1 波在管道中的传播,即使声波频率固定为 2.565 MHz。

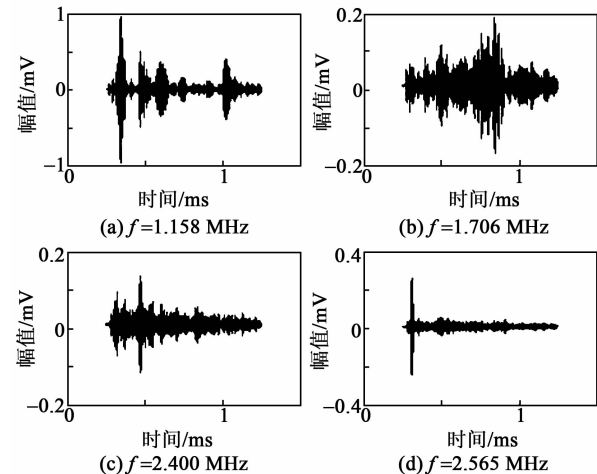


图 2 通过叉指换能器得到的时域信号

现在分析非轴对称沉积对声波传输的影响。以将沉积物保留 7/8 为例。根据实验,通过两组叉指换能器的两个信号:一个是位于沉积前的换能器所提供用以验证信号,另一个是位于沉积后的换能器所提供用以分析信号。最后,再对图 3(b)的图像进行傅里叶变换,即可得到其对应的频域信号,如图 4 所示。

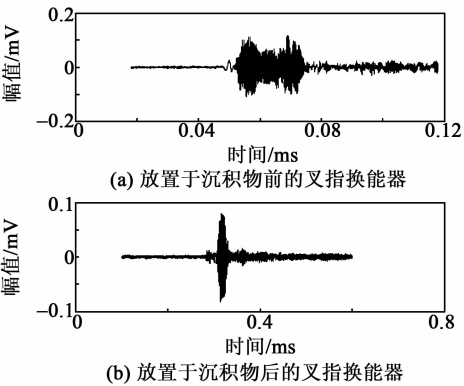


图 3 叉指换能器得到的 S_1 时域信号

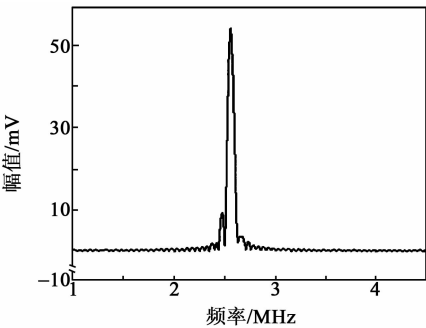


图 4 沉积物后的叉指换能器得到的频谱对应信号

3.2 基于 S_1 模式波的注水管道中非轴对称沉积的研究

针对每次所保留的沉积物的体积(7/8, 3/4, 5/8, 1/2)不同,我们进行 3 次操作,保留最好的那组数据,以便获得最后的频谱信号,如图 5 所示。

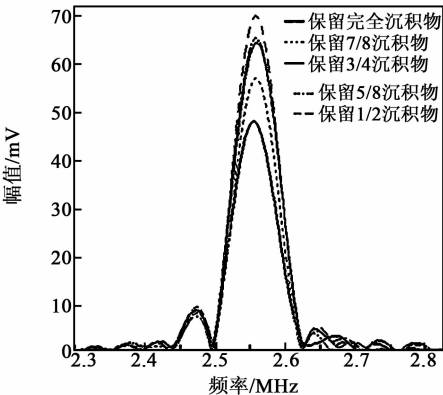


图 5 基于不同体积沉积物的最佳频谱信号

根据实验论证可得:

1) 在进行实验时不能选择过于高频的信号,因为高频信号的复杂性使其结果很难进行比较。

2) 根据图 5,通过对不同获取信号的幅值最大值进行比较可知,随着沉积物体积的减小,由叉指换能器获得的频谱信号的幅值也会随之增加。

3) 换能器与管道的接触条件还需要继续优化,换能器发射端的移动或旋转都可能改变回波信号振幅的变化。

4 结束语

本文主要介绍了钢管中非对称树脂沉积物对 Lamb 导向声波的影响。首先介绍了部分导波传播理论基础;然后通过描述实验操作解释了我们所运用的理论分析方法;最后,利用检测声波 S_1 在拥有沉积物浸入水中的钢管中的传播,获得实验结果。根据本实验的结果,信号输出端换能器所监测到的信号与管内沉积物的体积大小有关,其频谱信号的

幅值会随着沉积物体积的增加而减少。

参考文献:

- [1] 林铁. 超声波检测技术的应用[J]. 中国设备工程, 2012(7): 42-44.
 - [2] COHEN L. Time frequency distributions: a review[J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(7): 941-981.
 - [3] 王杜, 郑祥明, 唐正连, 等. 兰姆波在薄钢板无损检测中的应用研究[J]. 无损检测, 2007, 29(4): 194-199.
 - [4] WINTER W J, WAITE W F, MASON D H, et al. Methane gas hydrate effect on sediment acoustic and strength properties[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2007, 56(1/2/3): 127-135.
 - [5] 罗忠辉, 卢博. 海底沉积物参数计算方法及误差分析[J]. 海洋技术, 2008, 27(3): 35-38.
 - [6] 龙会国, 邓宏平, 何鹏飞, 等. 锅炉水冷壁管沉积物下腐蚀损伤特征及其超声检测[J]. NDT 无损检测, 2014, 36(6): 19-23.
 - [7] 孙钟, 李全育, 刁海波, 等. 温度对超声波检测缺陷定位量的影响[J]. 无损检测, 2011, 33(4): 26-32.
-
- (上接第 542 页)
- ZHOU Tianxiang, XU Bin, LI Yanhe, et al. Damage detection of a reinforced concrete-street hybrid wind turbine tower model with PZT [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2016, 38(6): 961-964.
- [2] 惠德畅, 王强, 王培伦. 基于压电阵列的无波速主动损伤监测方法研究[J]. 压电与声光, 2017, 39(1): 97-100.
- HUI Dechang, WANG Qiang, WANG Peilun. Study on active damage imaging monitoring method with no wave velocity based on piezoelectric array[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2017, 39(1): 97-100.
- [3] 路崧. 压电驱动非接触喷射点胶阀的设计理论与实验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [4] 朱婷. 一种压电陶瓷微位移驱动电源研究[J]. 电子科技, 2016, 29(5): 13-15.
- ZHU Ting. Study of a piezoelectric ceramic micro-displacement driving power supply[J]. Electronic Science and Technology, 2016, 29(5): 13-15, 18.
- [5] MARIO L, ELIZABETH F H, XUAN Z, et al. A low mass power electronics unit to drive piezoelectric actuators for flying microrobots[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2018, 33(4): 3180-3191.
- [6] CHRISTOPHER P, MOHAMMAD W, VIRANCHI P. Design of high voltage full bridge driver for piezoelectric actuator for space applications[C]//S. I.: 2016 IEEE 6th International Conference on Power Systems (ICPS), 2016: 1-5.
- [7] 王澄. 面向动态精密定位压电陶瓷驱动技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.
- [8] 王瑜瑜, 刘少军. 压电陶瓷驱动电源的设计与实现[J]. 电子设计工程, 2013, 21(18): 19-21.
- WANG Yuyu, LIU Shaojun. Design and realization of driving power for piezoelectric actuators[J]. Electronic Design Engineering, 2013, 21(18): 19-21.
- [9] 廖平, 樊光锋. 压电式点胶机驱动电源研究[J]. 压电与声光, 2016, 38(2): 312-315.
- LIAO Ping, FAN Guangfeng. Research on driving power of piezoelectric dispensing machine[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2016, 38(2): 312-315.
- [10] 陈大任, 李国荣. 逆压电效应的压电常数和压电陶瓷微位移驱动器[J]. 无机材料学报, 1997, 12(6): 861-866.
- CHEN Daren, LI Guorong. Piezoelectric constants measured from converse piezoelectric effect and piezoelectric ceramic actuators[J]. Journal of Inorganic Materials, 1997, 12(6): 861-866.