

# 小径不锈钢管超声导波检测

靳小强, 王建斌, 杜云鹏

(军械工程学院 电气工程系, 石家庄 050003)

**摘要:**介绍了超声导波检测的基本理论, 利用不同数量的压电陶瓷换能器, 选用 70 kHz、10 个周期经汉宁窗调制的正弦波信号, 对无缺陷和带有裂纹缺陷的  $\phi 8 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$  的小径不锈钢管进行了超声导波检测, 讨论了超声导波的频散和多模态现象。试验成功激发出  $L(0,1)$  模式导波, 结果表明对于此种小径管, 采用两发两收的方式得到的波形会更好, 并能有效地检测出一定尺寸的裂纹缺陷。

**关键词:**小径管; 超声导波; 缺陷检测; 压电陶瓷换能器

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2013)04-0045-03

## Ultrasonic Guided Wave Inspection in Small-Sized Stainless Pipes

JIN Xiao-Qiang, WANG Jian-Bin, DU Yun-Peng

(Department of Electrical Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** The basic theory of ultrasonic guided wave testing is introduced. By using different number of piezoelectric transducers, and adopting 10 cycles of modulated sinusoidal signal at 70 kHz through Hanning window, ultrasonic guided wave testing experiments in small-sized stainless pipe (8 mm in diameter and 1.5 mm in thickness) with crack defect and no defect are respectively conducted. The frequency dispersion and multi-mode phenomenon of guided waves is discussed.  $L(0,1)$  mode is excited successfully, and the results show that for such a small pipe, the echo waveforms are better by using two transducers to excite and other two transducers to receive. In addition, a certain size crack defects can be detected effectively.

**Keywords:** Small-sized pipes; Guided waves; Flaw detection; Piezoelectric ceramic transducer

管道运输广泛应用于石油、化工、天然气及城市供水等行业中。随着管道系统的快速发展, 管网越来越复杂、管线越来越长, 由于管道老化、内外壁腐蚀和裂纹等所导致的管道泄漏除了影响正常的生产外, 还会造成资源浪费、环境污染和经济等损失。因此, 发展管网完整性监测技术, 及时发现管道缺陷并判断缺陷位置和类型, 减小和预防泄漏事故的发生, 维护管道安全可靠的运行变得越来越重要。

超声导波检测技术是近年来新兴的无损检测技术, 与常规的无损检测技术相比, 具有检测速度快、距离长、成本低、效率高等优点, 并且能对管道进行非接触式检测, 是管道探伤的一个重要发展方

向<sup>[1-2]</sup>。目前, 国内针对外径小于 20 mm、壁厚小于 2 mm 的小径管的超声导波检测研究较少, 笔者对此种小径管进行了超声导波的检测。

## 1 超声导波检测基本理论

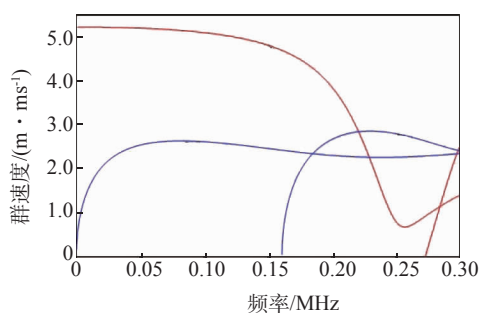
### 1.1 导波的频散特性

导波在传播一定距离后, 由于受到导波几何尺寸影响, 将会发生几何弥散, 导波的传播速度 (包括相速度和群速度) 随频率的不同而改变, 即导波的频散现象<sup>[3]</sup>。图 1 是利用英国帝国理工大学开发出的 disperse 软件绘出的各模式导波在  $\phi 8 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$  的钢管中的频散特性曲线。

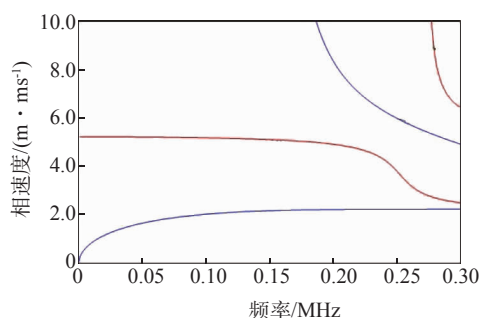
从图 1 中可以看出, 对应于每一频率处至少有两种模式的导波, 随频率增加, 导波的模态数亦会增加, 此即为超声导波的多模态现象<sup>[4]</sup>。而在检测中,

收稿日期: 2012-04-10

作者简介: 靳小强 (1987—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统、超声检测与应用。



(a) 群速度



(b) 相速度

图1 导波在钢管( $\phi 8\text{ mm} \times 1.5\text{ mm}$ )中的频散曲线

一种模态在边界或不连续处(如缺陷处)会转换成其他模态,导波的这种多模态与模态转换现象会导致不同模态信号的重叠、交叉,大大降低了检测的可靠性。由图可知,在频率 100 kHz 以下,  $L(0,1)$  模态频散较小,群速度最大,适合于此次管道缺陷检测。

## 1.2 检测原理

超声导波沿管道传播时,遇到缺陷会产生透射、反射和导波模态的转换,反射回波中会携带着缺陷的信息,对接收的回波信号进行适当处理,即能判断出缺陷所在的位置。激励和接收都在管道同一端,设距离信号激励端  $L$  处有一裂纹缺陷,从激励至接收到缺陷回波信号的时间为  $t$ ,激励出的导波的波速为  $c$ ,则缺陷的位置在  $L=c \times t/2$  处。

## 2 试验研究

### 2.1 试验装置

首先由导波激励信号源产生 10 个周期、中心频率为 70 kHz、经汉宁窗调制的单频正弦信号,经过功率放大器放大,由管道一端的压电陶瓷换能器进行激励和接收导波。回波信号经过调理放大后由数据采集卡进行采集,采样频率 1 MHz,而后通过主机由 LabVIEW 进行显示与分析。图 2 为试验装置示意图。试件为  $\phi 8\text{ mm} \times 1.5\text{ mm} \times 1\text{ 000 mm}$  的小径不锈钢管。

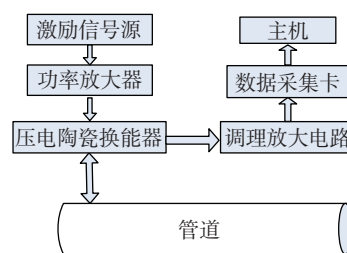


图2 试验装置示意图

### 2.2 试验过程与结果分析

首先对无缺陷的管道进行试验。压电陶瓷换能器分别采用一发一收、一发两收、两发一收和两发两收的方式进行。图 3 为采用两发两收方式从示波器所得整体波形,图 4 为分别采取以上几种方式试验所获得的波形。

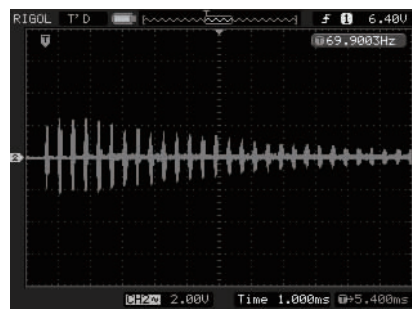


图3 两发两收方式示波器显示的整体波形

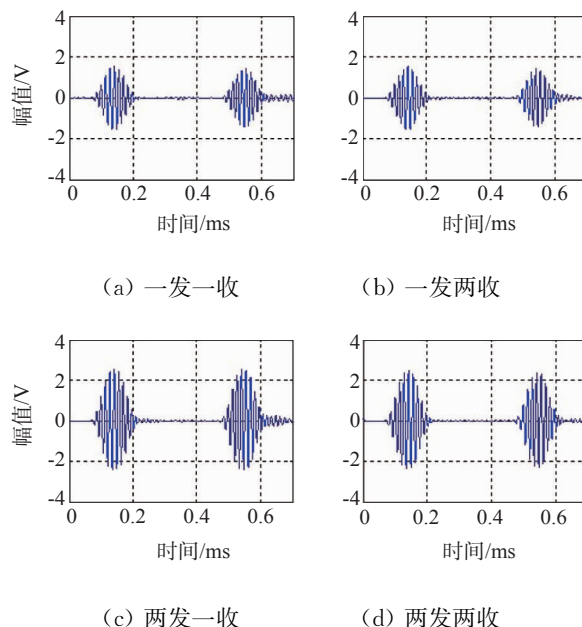


图4 无缺陷试验的 LabVIEW 显示回波波形

图 4 各图中,第一个波包为激励信号,第二个为端面回波。由图 3 可以看出,导波沿管道传播过程中能量在不断衰减,表现为波形幅值在慢慢减小,随着传播距离增加,波包宽度在变大,这是由于导波在

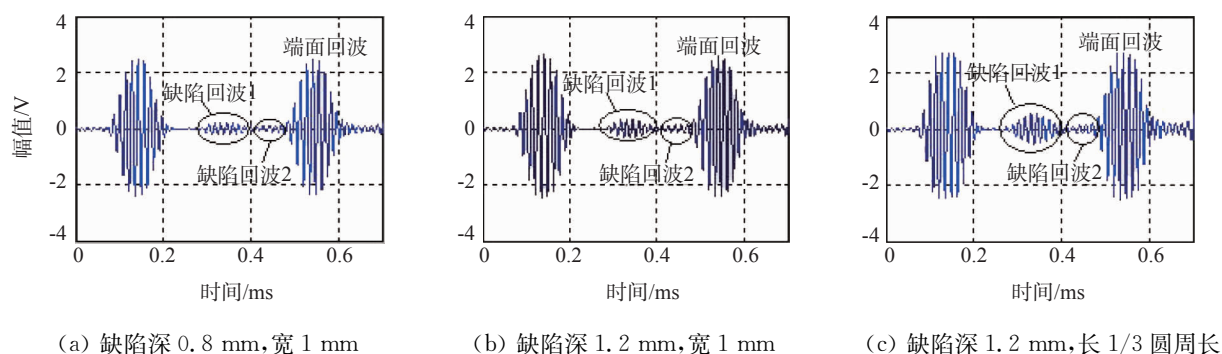


图5 两发两收方式各种不同有缺陷的 LabVIEW 显示波形

传播过程中发生了频散;另外波包之间也出现了幅值较小的其他波包,这是因为导波传播到钢管端面时产生了模态转换,这就验证了超声导波的频散和多模态现象。另外,采用周向对称分布的2片激励得到的波形幅值明显高于1片激励所得波形幅值,可达2 V多,并且采用两发两收方式所得波形好于两发一收方式,这是由于传感器数量的增加,并且周向均布,使得输入信号的能量增大,并且一定程度上抑制了弯曲模态<sup>[5-6]</sup>。所以在接下来的试验中激励接收方式都采取两发两收方式。以图4中的该方式为例,激励信号与回波信号间的时间间隔为0.39 ms,则激发出的导波实际波速  $c=2L/t=1\text{ m}\times 2/0.39\text{ ms}=5.128\text{ m/ms}$ ,与频散曲线中  $L(0,1)$  模态理论群速度非常接近,由此断定激发出的导波为  $L(0,1)$  模态。

其次,在距信号激励端47 cm处人工加工一周向裂纹缺陷,裂纹周向弦长4.8 mm,深度为0.8 mm,轴向宽1 mm,此缺陷横截面积占整个小管横截面的8.5%。为研究不同深度和周向长度的缺陷对回波信号的影响,再使深度增加到1.2 mm,然后深度不变,使周向长度增加至1/3个圆周。所得各波形如图5所示。

从图5可以看出,在激励波和端面回波之间出现了两个缺陷回波,而缺陷只有一个,所以可以断定第二个缺陷回波是模态转换现象产生的。以图5(a)为例,缺陷回波1传播时间是0.186 ms,此波是  $L(0,1)$  模态,则缺陷距激励端距离为  $L=c\cdot t/2=5.128\text{ m/ms}\times 0.186\text{ ms}/2=0.477\text{ m}$ ,与实际缺陷位置47 cm相比,相对误差为1.5%,定位较准确。缺陷回波2的传播时间为0.270 ms,则其传播速度为  $47\text{ cm}/(0.270-0.186\text{ ms}/2)=2.655\text{ m/ms}$ ,对照群速度频散曲线,可知此模态为  $F(1,1)$  模态。当裂纹深度增加时,缺陷回波1和2的幅度都增加,当周向裂纹长度增加时,缺陷回波的幅度也在增加,说

明缺陷越大,越易被检测出。

### 3 结论

采用中心频率70 kHz的经汉宁窗调制的10个周期的正弦单音频信号,利用压电陶瓷换能器对  $\phi 8\text{ mm}\times 1.5\text{ mm}$  的小径管进行了超声导波检测试验。试验成功激发出  $L(0,1)$  波,模态控制得较好,并且有效地检测出了一定尺寸的裂纹缺陷,定位较准确,说明对于此种小径管,由于壁厚积较小,采用  $L(0,1)$  模态波检测较灵敏<sup>[7]</sup>。此外,试验结果表明,此种小径管只需要两发两收就能很好地抑制弯曲模态波,频散较小,信号幅值也较大。当导波传播遇到缺陷时由于模态转换产生了弯曲模态  $F(1,1)$  波,并且缺陷尺寸越大,检测结果越明显。今后可通过试验进一步研究不同频率和周期的激励信号对试验结果的影响。

### 参考文献:

- [1] 刘镇清. 圆管中的超声导波[J]. 无损检测, 1999, 21(10): 560—562.
- [2] 张路根, 胡智, 刘伟成, 等. 管道的超声导波检测试验[J]. 无损检测, 2010, 32(6): 420—423.
- [3] 杨理践, 张玲玲, 高松巍. 超声导波在钢管中的传播特性[J]. 无损探伤, 2011, 35(1): 9—12.
- [4] 董为荣, 帅建. 管道超声导波检测技术[J]. 管道技术与设备, 2006(6): 21—23.
- [5] 刘增华, 吴斌, 李隆涛, 等. 管道超声导波检测中信号选取的实验研究[J]. 北京工业大学学报, 2006, 32(8): 700—703.
- [6] 李隆涛, 何存富, 吴斌. 管道长距离超声导波模态频散现象的抑制方法研究[J]. 数据采集与处理, 2004, 19(3): 297—300.
- [7] 他得安, 刘镇清, 贺鹏飞. 管材超声检测中导波模式及壁厚积的选择[J]. 同济大学学报, 2004, 32(5): 696—700.