

# 金属管直径对声发射波传播的影响

贾乐乐, 杨国安, 沈江, 王龙, 马屈杨

(北京化工大学机电工程学院, 北京 100029)

**摘要:**针对海洋平台声发射无损检测的需求,通过研究同壁厚异径金属管声发射波传播特性,并与同厚度金属板中声发射波传播特性作一对比,得出异径金属管和板中传播特性规律及差异,揭示管径对声发射波传播特性影响。同壁厚管随着管径的增大,其声发射信号的峰值均呈衰减趋势。

**关键词:**声发射;传播特性;管径;海洋平台

中图分类号:TH878

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2013)06-0001-04

## The Effect of Metal Tube Diameter on AE Wave Propagation

JIA Le-Le, YANG Guo-An, SHEN Jiang, WANG Long, MA Qu-Yang

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** For the requirements of offshore platform acoustic emission nondestructive testing, this paper obtains the propagation rules and differences of the metal pipes with different diameters and the differences with metal plate, reveals effects of the pipe diameter on propagation characteristics of acoustic emission waves, through the research on propagation characteristics of acoustic emission wave of metal pipes of the same wall thickness but with different diameters, comparison was made of propagation characteristics between the pipe and the plate taken as the limit case of the metal pipe. Pipe structures and plate structures are important parts of the offshore platform, so the research of this paper is of significant engineering application value to improve the positioning accuracy of fault sources and the analysis of fault characteristics in application of the offshore platform acoustic emission testing technology.

**Keywords:** Acoustic Emission; Propagation Characteristics; Pipe Diameter; Offshore platform

材料内部在受力状态下以弹性波的形式释放应变能的现象称为声发射(Acoustic Emission, AE)<sup>[5]</sup>。不同材料的声发射特性存在很大差异,即使对同一种材料,在不同受力方向 and 不同受力阶段,其声发射特性也不同<sup>[6]</sup>。因此,通过分析声发射信号,可推断材料结构内部发生的变化。

海洋平台作为一个大型空间桁架结构,在极端恶劣和复杂的海洋环境中经过长时间使用,其累积损伤致使桁架结构一般以两种方式失效:一种是损伤使结构达到不适合使用的临界状态,导致结构在

常规载荷作用下失效;另一种方式是累积损伤导致结构抗力衰减,此时损伤虽未达到临界值,但当结构遇到偶然性极端载荷作用时,部分构件甚至整个结构就可能失效。常用的无损检测手段不能及时发现作业中的海洋平台结构中的危险裂纹,只能在检修时发现。为了解决这个问题,目前采用声发射监测方法对海洋平台进行实时检测,可有效监测结构的损伤累积过程,及时对结构进行维修加固,以延长其寿命和增强抵抗突发性极端载荷的能力<sup>[7]</sup>。

声发射波的强度(峰值、能量)能有效地识别金属结构的损伤程度,声发射检测过程中一般事先对检测仪器设定一个阈值,超过该阈值时,将产生一个声发射事件<sup>[1]</sup>。在检测过程中,事先不知道损伤源的确切位置,传感器与损伤源的距离是不确定的,对损伤源的识别精度既取决于损伤强度,又取决于损伤源与探头之间的距离,因此,研究声发射波在被检

收稿日期:2012-10-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50875016)

作者简介:贾乐乐(1989—),男,硕士,主要从事机械设备故障诊断工作。

导师简介:杨国安(1963—),男,教授,主要从事机械设备故障诊断专业。

测结构中的传播特性对检测精度的影响就显得尤为重要。通过对声发射波传播特性的研究,提高声发射检测技术的精度,为精确识别损伤源位置及特征提供参考与数据支撑。

由于管结构和板结构是海洋平台的重要组成部分,因此笔者通过研究同壁厚异径金属管声发射波传播特性,并把同厚度金属板作为金属管的极限情况,将板中声发射波传播特性与管对比,得出异径金属管和板中传播特性规律及差异,揭示金属管直径对声发射波传播的影响,以期能对海洋平台的声发射检测技术应用提供参考。由于在实际应用中低频信号易受环境噪声的干扰,高频信号在传播中又衰减强烈,所以在绝大多数 AE 检测中,使用的主要频率段在几百千赫兹,笔者选择 150 kHz 的模拟声发射源信号频率。

## 1 试验方案

### 1.1 声发射数据采集系统

采用美国物理声学公司生产的声发射采集系统。模拟声发射源产生的声发射信号波形参数如下:中心频率 150 kHz,上升时间 20  $\mu$ s,下降时间 60  $\mu$ s,峰值 80 dB;设置前置放大器增益为 40 dB;数据采集卡参数设置如下:采样频率 1 MHz,采样长度 8 k,阈值 40 dB。

模拟声发射源信号波形如图 1 所示。

声发射采集系统框图如图 2 所示。

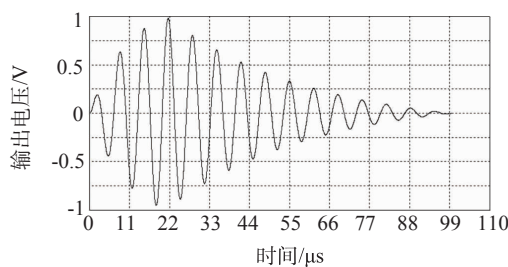


图 1 声发射源的信号波形

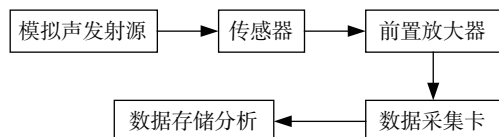


图 2 声发射采集系统

### 1.2 试样

试样包括厚度为 6 mm 的 1 块 1 000 mm  $\times$  1 000 mm 钢板和壁厚为 6 mm, 外径分别为 60, 108, 219 mm (以下简称 60 管, 108 管和 219 管) 的 3

根钢管, 长度均为 2 000 mm, 材料均为低碳钢。

### 1.3 传感器布置

传感器在钢板和钢管上的布置情况如图 3, 4 所示, 试验共用到 8 个传感器, 其中 S1 为模拟声发射源激励传感器, 型号为 WSA; R1~R7 为声发射信号接收器, 型号为 R15-ARPHA。

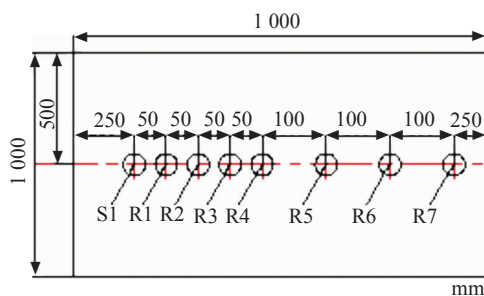


图 3 钢板上传感器布置位置

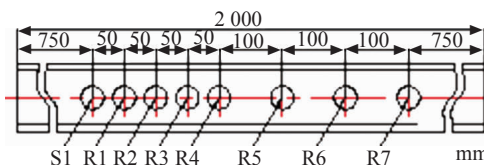


图 4 钢管上传感器布置位置

## 2 试验结果

限于篇幅, 这里仅列出  $\phi$  60 mm  $\times$  6 mm  $\times$  2 000 mm 和  $\phi$  219 mm  $\times$  6 mm  $\times$  2 000 mm 钢管的时域图和频谱图进行对比分析, 分别如图 5 和图 6 所示。

从图 5, 6 及另外因篇幅所限所省略掉的数据可得 60 管、108 管、219 管和 6 mm 板的时域峰值参数和能量参数对比值见表 1, 2。

根据表 1 和表 2 中试验数据, 作出得 60 管、108 管、219 管和 6 mm 板的时域峰值和能量参数趋势对比, 分别如图 7 和图 8 所示。

## 3 结果分析

从图 5 时域图的对比中可知, 随着管径的增大, 2 根管同一位置传感器接收到信号的时域波形的幅度总体上呈衰减趋势, 相对于 60 管, 219 管波形分离和扩散现象更明显, 从 R1 就比较明显了, 而 60 管直到 R5 才略呈波形分离和扩散现象。这是因为随着管径的增大, 即径厚比增大, 管中不同模态的波包的群速度会出现增大或减小<sup>[3]</sup>, 进而加剧了波形的分离和扩散。

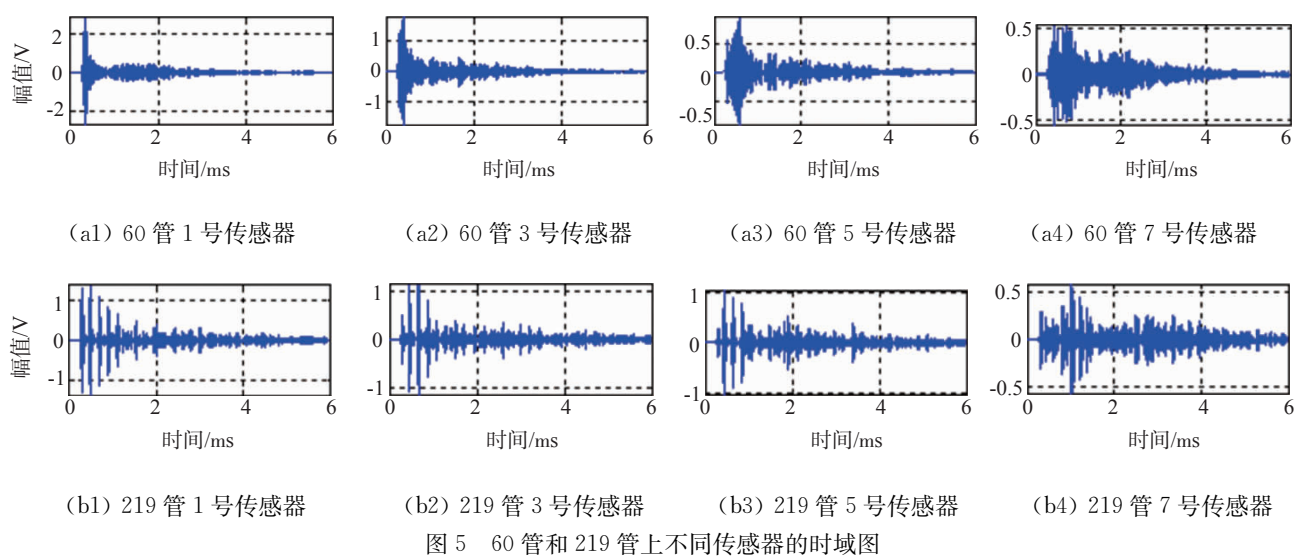


图 5 60 管和 219 管上不同传感器的时域图

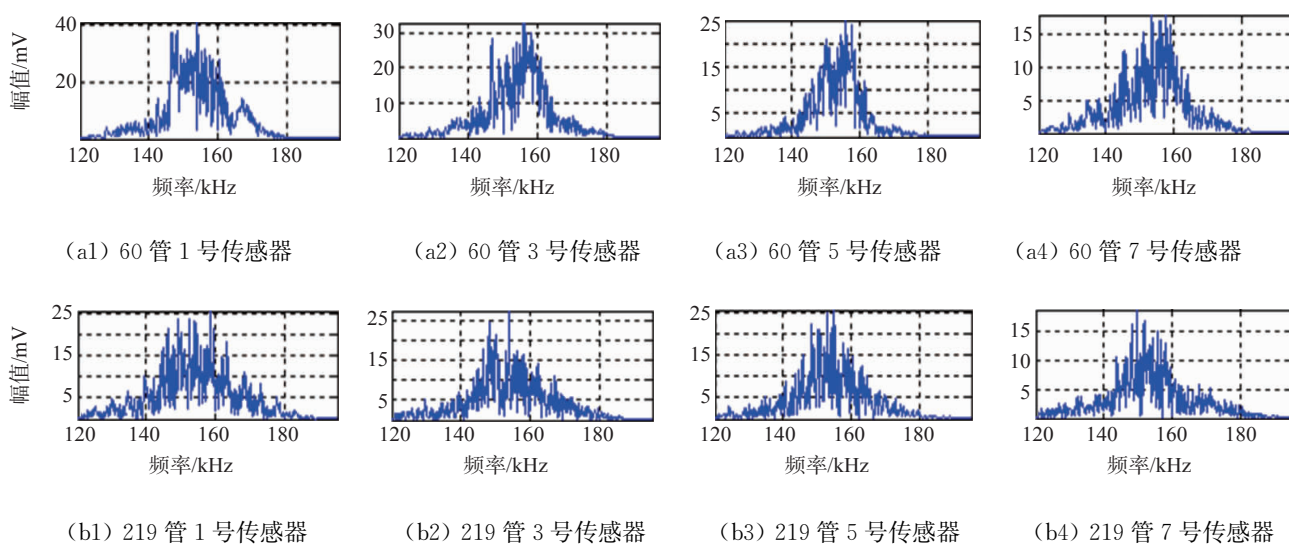


图 6 60 管和 219 管上不同传感器的频谱图

表 1 时域峰值参数对比表

dB

传感器	60 管	108 管	219 管	6 板
R1	89.2	87.1	82.8	84.0
R2	84.5	83.5	81.2	77.6
R3	85.1	84.0	81.2	72.9
R4	83.3	81.2	81.4	69.8
R5	79.5	79.7	80.4	70.6
R6	77.9	78.7	79.8	71.5
R7	74.6	73.1	75.5	69.5

表 2 能量参数对比表

传感器	60 管	108 管	219 管	6 板
R1	1 003	759	780	517
R2	862	611	724	494
R3	852	732	723	437
R4	795	603	745	438
R5	644	711	748	416
R6	670	661	626	427
R7	592	451	603	396

从上述部分频谱图的对比中可知,随着管径的增大,2 根管同一位置传感器接收到信号的频谱的幅度总体上呈衰减趋势,这与时域图对比分析的结论一致。

从表1,2中特性参数的对比中可知,随着管径

的增大,直至管径趋于无穷大(近似为板),同一位置的传感器(例如 R1)接收到信号的时域峰值呈衰减趋势,管中时域峰值明显大于板中时域峰值;并且随着距声发射源距离的增大,管子间同一位置的传感器接收到信号间的时域峰值趋于一致,到R5时差



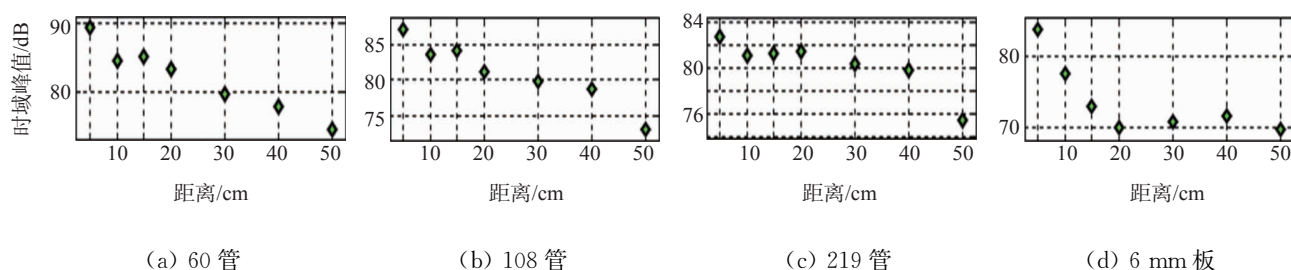


图7 60管,108管,219管和6 mm板的时域峰值参数趋势

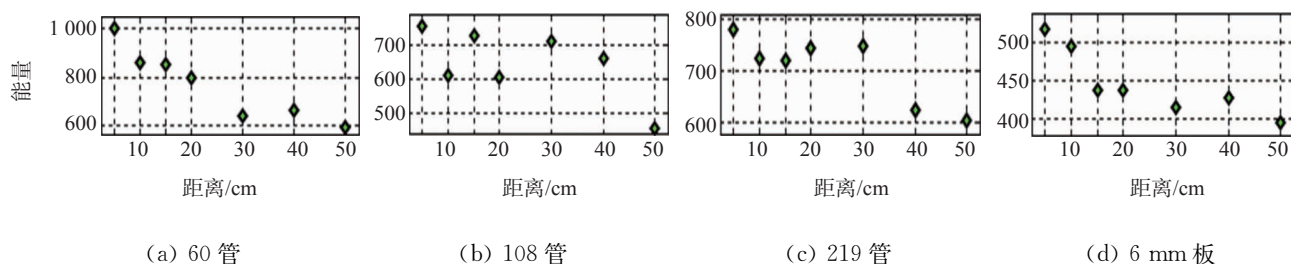


图8 60管,108管,219管和6 mm板的能量参数趋势

异已经很小了。其次由图7可知,管子时域峰值参数随距声发射源距离增大都呈衰减趋势,衰减幅度小,衰减速率慢,并且三者间区别不大;而板的时域峰值参数衰减幅度大,衰减速率快,至某一值后趋于稳定,这与其他管子区别明显。

由表2和图8能量参数对比中可知,首先108管的能量参数呈波动式衰减趋势,219管的能量参数呈阶梯式衰减趋势,60管和板的能量参数趋势基本一致,先衰减后稳定。108管和219管能量参数的特殊变化趋势可由圆管中的导波理论解释,理论上圆管中存在纵向模态、扭转模态和弯曲模态,其中前两种模态是轴对称模态,而弯曲模态则是非轴对称模态<sup>[4]</sup>,对于非轴对称模态振动,传感器在同一轴向位置的不同周向位置接收到的信号幅度是不同的,所以无法由布置在同一轴线上的传感器接收到的信号幅度来表征其随距离的变化趋势,因为其结果是随机波动的。正是由于管中非轴对称弯曲模态的影响,使得管中能量参数趋势可能会呈现波动式衰减或者阶梯式衰减,另外相对于平板更复杂传播路径和更多样模态的存在也加剧了能量参数趋势变化的复杂性。其次不考虑108管,随着管径的增大,直至管径趋于无穷近似为板,同一位置的传感器接收到信号的能量呈衰减趋势,管中能量明显大于板中能量。这与时域峰值参数分析的结论一致。

以上试验结果和分析均表明声发射波随传播距离的增大会发生不同程度的衰减,而引起声发射波衰减的3个主要原因为:因传播距离的增加,波阵面

的面积逐渐扩大而引起的波的几何扩展;因传播介质内质点的内摩擦而导致的材料吸收和因不均匀介质而引起的散射<sup>[8]</sup>。

在实际结构中,波的衰减机制很复杂,不仅会有以上3种主要衰减原因的成分,还会有其他因素的可能。比如,在一些构件中,不同频率成分的波以不同的速度传播,引起波形的分离或扩散,从而使波的幅度下降;障碍物也可能造成幅度下降。所以在实际结构中的声发射信号的衰减情况难以甚至不能由理论计算得到,只能用实验获得,并作为正式检测前衰减情况的参考数据。

## 4 结论

(1) 在相同强度的声发射源激励下,同壁厚管随管径的增大,同一位置处声发射信号的幅度呈衰减趋势,时域上的波形分离和扩散现象趋于明显;并且时域峰值呈衰减趋势,而能量趋势不定,可能会因管径变化增大或减小。

(2) 在相同强度的声发射源激励下,同壁厚管随管径的增大,每个管不同位置处声发射信号的时域峰值都呈衰减趋势,而能量会因管径变化呈波动式或阶梯式衰减。这说明对不同管径,时域峰值对声发射源的精确定位和特征分析是有效的,而能量对于特定管径可能产生较大误差。

(3) 在相同强度的声发射源激励下,板中声发射信号的幅度和能量都小于管中的,并且板中声发射信号的幅度和能量衰减速率都大于管中的。

(下转第10页)

表 1 融合前超声靶标目标识别率

超声靶 标类型	测试样 本数	未识别 样本数	识别率 /%
矩形槽	15	2	86.7
横通孔	15	3	80.0
平底孔	15	1	93.3

合特征  $y_1$  作为输入,训练参数同上述设置,经过多次实验,确定中间层的神经元数目为 21,训练了 11 步即达到了训练参数的要求。调用训练函数对网络进行训练,并对训练后的网络进行仿真。将测试样本的融合特征  $y_2$  作为输入向量输入神经网络,通过输出结果判别超声靶标的类型。通过试验,得出识别率如表 2 所示。

表 2 融合后超声靶标目标识别率

超声靶 标类型	测试样 本数	未识别 样本数	识别率 /%
矩形槽	15	1	93.3
横通孔	15	1	93.3
平底孔	15	0	100

比较表 1、2 可以看出,通过 FLDA 方法进行特征参数融合后,超声靶标的目标识别率有了很大的提高,降低了奇异特征值对目标识别的影响,能够有效区分超声靶标的类型,提高了参数综合利用的效率。

## 5 结论

提取了对实际检测的超声靶标脉冲超声回波信号的时域、频域及变换域的多个特征参数,并利用 FLDA 与 BP 神经网络相结合的方法对不同尺寸的

三类超声靶标进行了分类判别。与单用 LDA 或 BP 神经网络时比较,提高了超声靶标分类的识别率。该方法有效地实现了超声靶标的 3D 目标识别,在超声无损检测与评估等领域具有广阔的发展前景。试验结果表明该方法识别准确率高,对测试工况敏感度低,对噪声有抑制能力,具有鲁棒性。

## 参考文献:

- [1] 廖磷志,陈琪,严寒冰. 基于 Morlet 小波的超声缺陷分类识别方法研究[J]. 机床与液压,2010,38(17):55—57.
- [2] 阮晴,罗飞路,王鹏. 基于 BP 网络和 D-S 证据理论的超声检测缺陷识别[J]. 兵工自动化,2011,30(9):72—76.
- [3] 杜秀丽,沈毅,王艳. 基于时频判别特征的焊缝超声检测缺陷分类[J]. 焊接学报,2008,29(2):89—92.
- [4] KOLEY C, MIDYA B L. 3-D Object Recognition System using Ultrasound [J]. IEE, 2005:99—104.
- [5] SUN H C, SANIIE J. Nonlinear signal processing for ultrasonic target detection [J]. IEE, 1998(1):855—858.
- [6] SONG Sung-Jin, KIM Hak-Joon, CHO Hyeon. Development of an intelligent system for ultrasonic flaw classification in weldments [J]. Nuclear Engineering and Design, 2002, 212(1):307—320.
- [7] 曹玲玲,潘建寿. 基于 Fisher 判别分析的贝叶斯分类器[J]. 计算机工程,2011,37(10):162—164.
- [8] 郭丹,闫德勤,郑宏亮. 最大边际近邻线性判别分析[J]. 小型微型计算机系统,2011,32(12):2466—2470.
- [9] 张晓华,赵立强. 基于 Fisher face 和 KNN 组合分类器的人脸识别算法[J]. 河北科技师范学院学报,2008,22(2):36—39.
- [10] 葛哲学,孙志强. 神经网络理论与 MATLAB R2007 实现[M]. 北京:电子工业出版社,2007.

(上接第 4 页)

(4) 声发射波在管中传播的衰减原因多样,其衰减情况难以由理论计算得到,通过试验可找出声发射波的衰变特性,可据此衰变曲线修正声发射检测强度和事件的阈值范围,为实际应用提供参考。

## 参考文献:

- [1] 张虹,靳世久,孙立瑛. 不同管道特征对声发射信号幅度的衰减影响[J]. 管道技术与设备,2007(3):13—14.
- [2] 他得安,刘镇清. 超声导波波包宽度与管材内径-壁厚比的关系[J]. 应用科学学报,2003,21(3):231—235.
- [3] 他得安,刘镇清. 超声导波频散特性与管材内径-壁厚

比的关系[J]. 复旦学报:自然科学版,2003,42(1):7—13.

- [4] JOSEOH L. Ultrasonic Wave in Solid Media[M]. London: England Cambridge University Press,1999.
- [5] 成建国,毛汉领,黄振峰. 金属材料声发射信号特征提取方法[J]. 声学技术,2008,27(3):309—314.
- [6] 沈功田,耿荣生,刘时风. 声发射信号的特征分析方法[J]. 无损检测,2002,24(2):72—77.
- [7] 刘刚,陈超. AE 技术在石油工程中的应用[J]. 中国科技信息,2012(1):45—46.
- [8] 戴光,徐彦廷,李伟,等. 声发射源信号强度的“逆源”问题研究[J]. 大庆石油学院学报,1998,22(3):59—62.