

超声相控阵全聚焦无损检测技术概述

章 东¹, 桂 杰², 周哲海¹

(1. 生物医学检测技术及仪器北京实验室, 北京信息科技大学, 北京 100192; 2. 北京聚利科技股份有限公司, 北京 100096)

摘要: 超声相控阵全聚焦成像技术基于接收信号后处理的思想, 对检测回波数据进行离线分析成像, 是超声检测领域里的一项新技术。因其成像分辨率高、覆盖面广、对小缺陷灵敏度高等优势, 在航空航天、高铁、石油管道、核电站等工业领域已有初步应用。文章介绍了全聚焦成像技术的检测原理及优缺点, 介绍了其国内外发展历程, 总结了研究热点及发展趋势。

关键词: 超声相控阵; 全聚焦成像; 发展; 应用

中图分类号: TB559

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2018)-04-0320-06

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2018.04.005

A review of total focusing method for ultrasonic phased array imaging

ZHANG Dong¹, GUI Jie², ZHOU Zhe-hai¹

(1. Beijing Key Laboratory for Optoelectronic Measurement Technology, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China;

2. Beijing Julu Science & Technology Co., Ltd, Beijing 100096, China)

Abstract: Total Focusing Method (TFM) for ultrasonic phased array imaging is a new technique in ultrasonic detection. It is based on the idea of echo data off-line analysis for post-processing of received signals. Because of its high imaging resolution, wide coverage, high sensitivity to small defects and so on, this technique has been preliminarily applied in the fields of aerospace, high speed railway, oil pipelines, nuclear power plants and others. This paper introduces the detection principle, advantages and disadvantages of the total focusing method for ultrasonic phased array imaging, summarizes the development situation at home and abroad, and sums up the research hotspots and the development tendency.

Key words: ultrasonic phased array; total focusing method; development; application

0 引言

超声检测技术是无损检测领域中一项成熟并运用广泛的检测技术。现代无损检测是对复杂工件表面和内部结构的性质进行检查与测试。超声无损检测技术因其探伤灵敏度高、周期短、成本低、对人体无害等优点被广泛用于现代无损检测行业中。而超声相控阵技术是通过改变超声波到达物体内部的相位关系、使声束发生聚焦偏转, 从而实现对工件的波束扫描并得到内部成像。超声相控阵技术能够在很大程度上改善检测的灵敏度、覆盖范围和精度等要求, 可以得到高分辨率的裂纹、焊缝等缺陷的图像。近年来, 相控阵技术广泛应用于航空、铁路、建筑、石油管道等工业领域中。

常规的相控阵超声检测技术, 通过聚焦延时算法, 对声束进行合成, 实现声束聚焦、偏转, 形成一系列扫描线, 对检测物体进行扫描。这种方法由于扫描声束有限, 即聚焦点数一定, 导致在聚焦点及附近位置成像效果较好, 远离焦点位置的成像分辨率降低, 无法得到精确的成像结果。为了得到能够定性定量分析的检测图像, 将获得的相控阵超声阵列的数据信息通过全聚焦成像算法(Total Focusing Method, TFM)处理, 可使全矩阵数据集有效地聚焦到成像平面的每一像素点, 所得到的图像分辨率和质量有了极大提高。全聚焦成像算法基于接收信号后处理的思想, 对检测回波数据进行离线分析成像, 是一种非实时的检测方法, 具有比当前常规相控阵超声检测技术更高的缺陷成像能力^[1]。该算法可实现常规相控阵技术无法探测的尺寸为半波波长的缺陷, 能精确地判断缺陷的类型、大小和位置。图 1 为对直径 0.5λ (λ 为波长) 的圆孔缺陷的全聚焦成像^[2]。其使用的是线阵换能器, 中心频率为 5 MHz, 阵元数为 32, 阵元中心间距为 0.6 mm。被检物体的材质为钢, 图中黑色圆标记处为实际缺陷

收稿日期: 2017-08-04; 修回日期: 2017-11-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(61475021、61108047)、北京市自然科学基金项目(4152015)

作者简介: 章东(1992—), 女, 安徽安庆人, 硕士研究生, 研究方向为超声相控阵检测技术。

通讯作者: 周哲海, E-mail: zhouzhehai@bistu.edu.cn

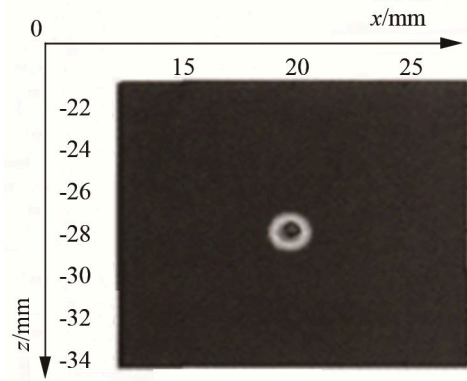


图 1 直径 0.5λ 圆孔缺陷的全聚焦成像
Fig.1 TFM imaging of a hole defects with 0.5λ diameter

位置及大小。超声相控阵全聚焦成像技术因其成像优势及工业领域对检测要求的提高，已逐渐得到研究者的重视并初步运用到工业领域中。

本文介绍了全聚焦成像技术的检测原理及优缺点，介绍了其国内外的研究发展历程，对近年来的研究热点、难题及发展趋势进行了总结。

1 相控阵全聚焦成像检测原理及优缺点

1.1 全矩阵数据采集理论

在用全聚焦成像算法处理回波数据前，需通过全矩阵数据采集(Full Matrix Capture, FMC)获取数据信号^[1]。

全矩阵数据采集模型如图 2 所示。一个阵元数目为 N 的超声换能器，首先激发换能器的第一个阵元发射超声波，所有阵元都接收超声回波并储存。这些超声回波可被记为： $e_{x_1,x_2}(t)$, $e_{x_1,x_3}(t)$, ..., $e_{x_1,x_N}(t)$ 。然后激发第二个阵元发射超声波，并所有阵元都接收回波依次存储。直至激发所有阵元，得到一个 $N \times N$ 的全矩阵数据集，如表 1 所示。该数据集是以发射阵元序列、接收阵元序列和时间采样点数组成的三维数据^[3]，其包含了检测物体的全部信息。下面通过全聚焦成像算法将检测物体的内部结构成像出来。

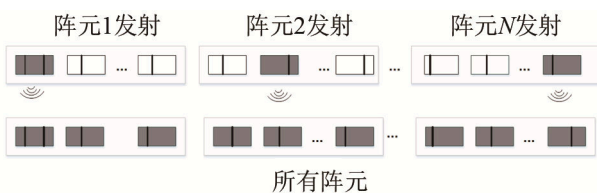


图 2 全矩阵数据采集的定义
Fig.2 The definition of full matrix data acquisition

表 1 采集的全矩阵数据
Table 1 Collected full matrix data

发射	接收					
	1	2	...	j	...	N
1	$e_{x_1,x_1}(t)$	$e_{x_1,x_2}(t)$	...	$e_{x_1,x_j}(t)$	...	$e_{x_1,x_N}(t)$
2	$e_{x_2,x_1}(t)$	$e_{x_2,x_2}(t)$	...	$e_{x_2,x_j}(t)$	...	$e_{x_2,x_N}(t)$
...
i	$e_{x_i,x_1}(t)$	$e_{x_i,x_2}(t)$	...	$e_{x_i,x_j}(t)$	...	$e_{x_i,x_N}(t)$
...
N	$e_{x_N,x_1}(t)$	$e_{x_N,x_2}(t)$	...	$e_{x_N,x_j}(t)$	...	$e_{x_N,x_N}(t)$

1.2 全聚焦成像算法

全聚焦成像算法(TFM)是把全矩阵数据集聚焦到检测图像的每一点上，利用超声回波的幅值得到图像的灰度值，实现物体的成像^[3]。对于常规的矩形试块，建立如图 3 所示的全聚焦成像算法原理图。超声阵列换能器通过机油耦合于试块上，以试块表面中心点为原点 O ，横轴 x 沿试块表面长度方向，纵轴 z 沿试块高度方向。将检测区域分割成一定数量的像素点，如图 2 中圆点所示。这些像素点就是声束聚焦点，以点 (x, z) 为例，为得到该点的超声回波幅度值，将全矩阵数据集的所有信号在该点处进行叠加。该点幅值 $I(x, z)$ 可表示为^[4]

$$I(x, z) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N e_{x_i,x_j}(t_{i,j}(x, z)) \quad (1)$$

式中， $e_{x_i,x_j}(t_{i,j}(x, z))$ 为 i 阵元发射、 j 阵元接收的超声回波叠加到 (x, z) 位置的幅值。 $t_{i,j}(x, z)$ 为声波从阵元 i 发射到聚焦点 (x, z) 和从该点返回到阵元 j 所需的延迟时间。 $t_{i,j}(x, z)$ 可表示为^[4]

$$t_{i,j}(x, z) = \frac{\sqrt{(x-x_i)^2+z^2} + \sqrt{(x-x_j)^2+z^2}}{c} \quad (2)$$

其中： x_i 、 x_j 分别为发射阵元和接收阵元的横坐标； c 为超声波在试块中传播的纵波速度。

对图像的每一个聚焦点都按照上式进行叠加，

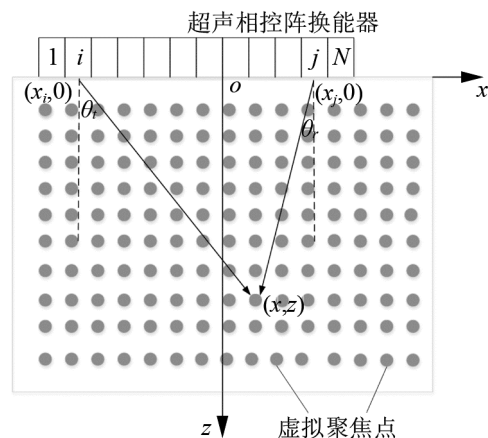


图 3 全聚焦成像算法原理图
Fig.3 The schematic diagram of TFM principle

算出每个像素点的幅值,利用这些幅值信息即可得到试块的二维图像。

1.3 全聚焦成像算法的优缺点

常规相控阵超声检测聚焦点数为有限个,导致在成像区域内焦点附近成像效果好,其他位置成像分辨率降低。而全聚焦成像算法是一种发射、接收都采用多点聚焦的检测方法,其将成像区域内分割为多个网格,对每一网格都进行聚焦,成像结果更加均匀平滑。有研究表明,在一种称为阵列换能器性能指示器(Array performance indicator, API)的评价系数标准下,TFM的成像质量优于常规相控阵超声成像方法。有学者甚至将 TFM 称为相控阵超声检测技术中的“黄金标准”算法^[4]。

然而,该算法在实际检测中仍有缺陷。由于采集数据量庞大,其在实时检测时困难较大。影响 TFM 检测效率的因素有阵列阵元数目、成像区域大小、脉冲重复频率、每个像素点聚焦所需时间等。随着阵元数目的增加,全矩阵采集数据集的维度增加,是导致计算效率变低的主要因素^[5]。有数据表明^[6],使用一维 64 阵列的换能器检测,检测时间达 10 min 以上。

2 全聚焦成像技术国内外研究现状

国外研究及应用超声全聚焦成像技术较为深入的国家主要有英国、法国、美国、加拿大等。全聚焦成像技术是由英国 Bristol 大学的 Caroline Holmes 等^[7]在 2005 年首次提出,利用来自超声换能器所有的发射-接收阵元信号进行全聚焦成像算法处理,使用该算法与线性 B 扫、聚焦 B 扫两种成像方式进行比较,发现 TFM 算法对小缺陷有更高的敏感性并检查覆盖率更大。表 2 为三种算法对厚度为 50 mm 铝板的检测结果比较,可以发现 TFM 算法的超声阵列性能指标(Array Performance Indicator, API)参数最小且信噪比有较高提升。但同时该算法获取数据的信息量庞大,处理速度大大降低。针对数据处理速度问题,Alan J. Hunter 等^[1]在该算法基础上提出了利用傅里叶变换方法的波数成像算法,该算法使处理速度提高了数倍,并发现其对弯曲表面的不均匀材料有很好的成像结果。但其选取的频域插值对成像的质量有很大的影响。在实际检测中波数成像算法的运用还比较少。Ludovic Moreau 等^[8-9]提出了使用稀疏阵列来减少数据捕获的持续时间,使用该方法有两个影响成像精度的因素:阵元与成像位置的距离和角度,其对远场和偏

表 2 三种不同方法的处理结果
Table 2 Processing results of three different methods

成像算法	API	SNR/dB
线性 B 扫	15.98	21.5
聚焦 B 扫	1.52	36.2
TFM	0.77	42.8

转角度小的位置成像更清晰。Jie Zhang 等^[10-11]定量分析了阵列换能器参数对全聚焦成像的影响。Jie Zhang 等^[12]又讨论了如何使用裂纹缺陷的散射系数来获取缺陷的形状、大小及方向。由散射系数得到的缺陷精度误差控制在 10% 以内。

近几年研究中,Mark Sutcliffe 等^[13]和 Mickael Njiki 等^[14]分别在 2012 年和 2013 年提出了通过 PC 架构与图形处理单元并行化,加快了全聚焦成像算法的处理速度。Ewen Carcreff 等^[15]使用 TFM 的标准法和迁移法对含有侧钻孔的铝块进行了检测和比较。检测结果表明迁移方法具有更高的信噪比和较少的衍射伪像。Theodosia Stratoudaki 等^[16]提出了激光超声波运用在全聚焦成像检测中。将该方法检测铝试块时,可以检测到 20 mm 深度的缺陷,显著提高了空间分辨率和缺陷检测能力。Ameni Aschy 等^[17]开展使用 TFM 法对碳纤维复合结构材料的检测,提出超声纵波的衰减和散射噪声会造成缺陷位置误差。Jie Zhang 等^[18]使用多视图全聚焦成像方法区分小体积缺陷和平面裂纹缺陷,精确表征缺陷类型。全聚焦成像技术也初步被国外商业开发,法国 M2M 公司研发出全聚焦成像设备 Multi2000,实现了全矩阵数据采集并通过计算机进行成像。

与国外相比,国内高校及研究所对超声相控阵全聚焦成像技术的研究起步较晚,但在某些方面也取得了显著成果。北京航空航天大学周正干等^[19]针对在有楔块的情况下,超声在传播过程中会产生衰减,通过对声束指向性、投射和扩散三个方面计算衰减校准系数,提出改进算法并得到能量更加均匀的成像结果。文献[20]提出了一种用 36°斜块对焊缝缺陷进行 TFM 检测的方法。该方法表明 TFM 具有更高的分辨率和更强的识别能力,可以分辨比常规相控阵更小的目标。天津大学的张昊等^[21]提出了基于线阵列换能器的全聚焦三维成像。其使用全聚焦成像算法对每一断层进行成像,再将每个断层按实际位置连接起来,实现三维成像。图 4 是对高度 14 cm、宽度 9 cm、厚度 3 cm、材质为钢的试块缺陷的三维成像^[21]。其使用的是 16 阵元的线阵换能器,中心频率为 3.5 MHz,阵元中心间距为 1.6 mm。在实际应用方面,广东汕头超声电子股份有限公司使用已有的相控阵设备进行了全矩阵数据采集,并

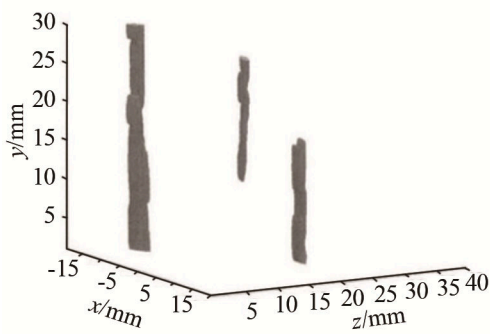


图 4 缺陷的三维成像

Fig.4 Three-dimensional imaging of defects

编写 TFM 算法程序, 实现了使用横波对对接平板焊缝未融合缺陷的检测^[22]。

综上所述, 国内外高校、研究所及商业领域已广泛开展对超声相控阵全聚焦成像技术的研究, 并取得了一些成果。

3 超声相控阵全聚焦成像技术的研究热点及发展趋势

超声相控阵全聚焦成像技术虽然已取得了一些研究成果, 但在实际应用中仍然存在很多问题, 在工业领域中的应用较少。目前, 对于全聚焦成像技术的研究主要集中在成像精度、对缺陷的定性定量分析、三维成像、实时化成像、针对不同检测对象的检测方法的研究及数据处理等方面。下面将简单介绍目前三个研究热点及全聚焦成像技术的发展趋势。

3.1 缺陷散射对全聚焦成像算法的影响

利用全聚焦方法实现高分辨率成像的关键是获取缺陷散射的主要能量, 全聚焦成像主要是利用位于正反射区域内的缺陷散射信息^[20], 而且相控阵传感器只能接收到部分的散射信息, 很难获取到透射区域的散射信息, 这直接影响了全聚焦成像的精度及缺陷的定性定量分析, 不能从成像结果上判别缺陷的类型及尺寸^[2]。在实际检测中缺陷类型未知的情况下, 从全聚焦成像结果中只能获得较好的缺陷检出率, 不能对缺陷类型有精确的判断, 靠近传感器的缺陷能量高, 远离传感器的缺陷能量低, 导致成像结果与缺陷本身有误差。

通过实验发现, 超声换能器只能采集到部分缺陷散射信息, 全散射信息无法得到, 导致全聚焦成像分辨率不高。检测裂纹时, 缺陷散射会导致传感器不能采集到与声波入射方向夹角小的裂纹的散射主能量, 使得裂纹长度方向与声波入射方向的夹

角越小, 全聚焦成像对裂纹的分辨力越低^[23]。所以尽量多地获取缺陷散射的主要能量是改善全聚焦成像精度、实现对缺陷准确定性定量分析的关键, 也是缺陷定性定量分析的发展方向。

3.2 基于全聚焦成像的三维成像技术

随着工业领域对无损检测技术要求的提高, 二维检测图像已无法满足人们的需求。二维检测图像只能识别被检试块的某一截面, 不能探测缺陷的深度和空间位置。为此, 众多研究者对三维成像进行了深入研究。

近几年来, 实现三维成像的方法是使用二维面阵相控阵探头对物体进行检测。该方法的聚焦偏转法则非常复杂, 数据量庞大, 需要使用硬件系统强大的超声相控阵系统处理数据, 这样不仅增加了成本而且硬件系统非常笨重、不便携^[24-26]。因此该方法的应用仍不普遍。众多研究者将断层扫描法和超声相控阵成像技术相结合来实现超声三维成像。Sun 等^[27]设计了基于 64 阵元的线阵换能器的三维扫描成像系统, 通过沿垂直于切片方向移动探头, 在切片上进行电子扫查, 获取断层 B 扫查图像再按照实际位置叠加, 可以实现材料内部缺陷的三维成像。而这类电子扫查聚焦点数有限, 导致切片上的成像分辨率低, 降低了三维成像的效果。若每层切片采用全聚焦成像算法, 则大大改善了成像分辨率及信噪比。基于断层扫描和全聚焦成像的超声相控阵线阵三维成像方法^[28], 实现了缺陷的高质量三维成像, 是目前的研究重点之一。

3.3 实时化成像

相控阵全聚焦成像算法是基于接收信号后处理的思想, 对超声回波进行离线分析, 导致其无法实时检测评价。由于该算法采样数据量大、成像网格点数多、硬件处理速度有限等因素导致实时成像困难。在线反馈检测结果是工业检测的必然要求。近年来, Zheng Fan 及 Mickael Njiki 等学者致力于从硬件方面加快数据处理速度, 将 GPU 加速、并行计算、多线程采集、现场可编程门阵列(Field-programmable Gate Array, FPGA)等现代计算机科学与技术相融合^[29-30], 初步实现了实时成像。实现全聚焦成像算法的实时化对工业领域有着重要意义。

4 结论

超声相控阵全聚焦成像算法最大程度地利用了超声回波信号并对检测平面上的每一像素点聚

焦, 得到分辨率和信噪比都较好的超声成像。相较于常规相控阵检测, 超声相控阵有着高效性、灵活性、对小缺陷灵敏度更高等优点而引起广泛关注。近年来, 数字信号处理、FPGA、计算机等技术水平的快速提高, 给全聚焦成像技术带来了更多的发展, 为把算法运用到实际工业检测中提供了无限的可能。目前, 全聚焦成像算法已初步应用于铁路、航天航空、石油、核电站等各个工业领域, 在生产质量检测、设备使用及安全性能评估方面发挥着重要的作用, 其广阔的应用前景将推动它朝着实时化、智能化、便携式的方向发展。

参 考 文 献

- [1] HUNTER A J, DRINKWATER B W, WILCOX P D. The wave-number algorithm for full-matrix imaging using an ultrasonic array[J]. *IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics & Frequency Control*, 2008, **55**(11): 2450-2462.
- [2] 周进节, 郑阳, 张宗健, 等. 缺陷散射对相控阵超声全聚焦成像的影响研究[J]. *仪器仪表学报*, 2017, **38**(2): 454-461.
ZHOU Jinjie, ZHENG Yang, ZHANG Zongjian, et al. Research on the effect of defect scattering on phased array ultrasonic TFM imaging[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2017, **38**(2): 454-461.
- [3] STEPINSKI T. An implementation of synthetic aperture focusing technique in frequency domain[J]. *IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics & Frequency Control*, 2007, **54**(7): 1399-1408.
- [4] FAN C, CALEAP M, PAN M, et al. A comparison between ultrasonic array beamforming and super resolution imaging algorithms for non-destructive evaluation[J]. *Ultrasonics*, 2014, **54**(7): 1842-1850.
- [5] 彭华. CRH 动车轮对超声相控阵全矩阵成像技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.
PENG Hua. Study on ultrasonic phased array full matrix capture imaging technique for CRH wheel-set[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.
- [6] 周祥. 车轮缺陷相控阵超声全聚焦成像技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
ZHOU Xiang. Research on phased array ultrasound focusing imaging technology for wheel defects[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.
- [7] HOLMES C, DRINKWATER B W, WILCOX P D. Post-processing of the full matrix of ultrasonic transmit-receive array data for non-destructive evaluation[J]. *Ndt& E International*, 2005, **38**(8): 701-711.
- [8] MOREAU L, DRINKWATER B W, WILCOX P D. Ultrasonic imaging algorithms with limited transmission cycles for rapid nondestructive evaluation[J]. *IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics & Frequency Control*, 2009, **56**(9): 1932-1944.
- [9] MOREAU L, HUNTER A J, DRINKWATER B W, et al. Efficient imaging techniques using an ultrasonic array[C]//*Health Monitoring of Structural and Biological Systems*. International Society for Optics and Photonics, 2010: 788-782.
- [10] ZHANG J, DRINKWATER B W, WILCOX P D. Effects of array transducer inconsistencies on total focusing method imaging performance[J]. *Ndt& E International*, 2011, **44**(4): 361-368.
- [11] ZHANG J, DRINKWATER B W, WILCOX P D, et al. Defect detection using ultrasonic arrays: the multi-mode total focusing method[J]. *Ndt& E International*, 2010, **43**(2): 123-133.
- [12] ZHANG J, DRINKWATER B W, WILCOX P D. Defect characterization using an ultrasonic array to measure the scattering coefficient matrix[J]. *IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics & Frequency Control*, 2008, **55**(10): 2254-2265.
- [13] SUTCLIFFE M, WESTON M, DUTTON B, et al. Real-time full matrix capture for ultrasonic non-destructive testing with acceleration of post-processing through graphic hardware[J]. *Ndt& E International*, 2012, **51**(10): 16-23.
- [14] BOUAZIZ S, NJIKI M, ELOUARDI A, et al. A real-time implementation of the Total Focusing Method for rapid and precise diagnostic in non-destructive evaluation[C]//*IEEE, International Conference on Application-Specific Systems, Architectures and Processors*. IEEE Computer Society, 2013: 245-248.
- [15] CARCREFF E, BRACONNIER D, DAO G. Fast total focusing method for ultrasonic imaging[C]//*Ultrasonics Symposium*. IEEE, 2016: 1-2.
- [16] STRATOUDAKI T, CLARK M, WILCOX P D. Full matrix capture and the total focusing imaging algorithm using laser induced ultrasonic phased arrays[C]//*Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation. 43rd Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, 2016: 020022.
- [17] ASCHY A, TERRIEN N, ROBERT S, et al. Enhancement of the total focusing method imaging for immersion testing of anisotropic carbon fiber composite structures[C]//*Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation. 43rd Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, 2016: 55-58.
- [18] ZHANG J, BARBER T, NIXON A, et al. Investigation into distinguishing between small volumetric and crack-like defects using multi-view total focusing method images[C]//*Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation. 43rd Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, 2017: 586-592.
- [19] 周正干, 彭地, 李洋, 等. 相控阵超声检测技术中的全聚焦成像算法及其校准研究[J]. *机械工程学报*, 2015, **51**(10): 1-7.
ZHOU Zhenggan, PENG Di, LI Yang, et al. Research on phased ultrasonic total focusing method and its calibration[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2015, **51**(10): 1-7.
- [20] HAN X L, WU W T, LI P, et al. Application of ultrasonic phased array total focusing method in weld inspection using an inclined wedge[C]//*IEEE*, 2014: 114-117.
- [21] 张昊, 陈世利, 贾乐成. 基于超声相控阵线的缺陷全聚焦三维成像[J]. *电子测量与仪器学报*, 2016, **30**(7): 992-999.
ZHANG Hao, CHEN Shili, JIA Lecheng. Three-dimensional total-focus imaging based on ultrasonic linear phased array[J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrumentation*, 2016, **30**(7): 992-999.
- [22] 杨贵德, 方俊钊, 詹红庆, 等. 基于相控阵全矩阵采集的全聚焦技术应用研究[J]. *无损探伤*, 2016, **39**(2): 26-27.
YANG Guide, FANG Junchai, ZHAN Hongqing, et al. Research on full technology based on phased array full matrix acquisition[J]. *Nondestructive Testing*, 2016, **39**(2): 26-27.
- [23] 焦敬品, 马婷, 李光海, 等. 用于裂纹方向识别的超声散射系数分析方法研究[J]. *声学学报*, 2016, **52**(1): 13-24.
JIAO Jingpin, MA Ting, LI Guanghai, et al. Characterization of the directivity of crack-like defects based on the distribution of scattering coefficient and its influencing parameters[J]. *CATA Acustica*, 2016, **52**(1): 13-24.
- [24] ORALKAN O, ERGUN A S, CHENG C H, et al. Volumetric ultrasound imaging using 2-D CMUT arrays[J]. *IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics & Frequency Control*, 2003, **50**(11): 1581.
- [25] REILLY D, TOFT M, BOWKER K. Extension of GTD model of ultrasound inspection to complex geometries and phased array

- probes[C]//The 42nd Annual British Conference on NDT, England, 2003: 153-159.
- [26] 周正干, 李洋, 陈芳浩, 等. 矩阵换能器超声三维成像方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(2): 371-378.
ZHOU Zhenggan, LI Yang, CHEN Fanghao, et al. Research on ultrasonic three-dimensional imaging method of matrix transducer[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(2): 371-378.
- [27] SUN C, GANG T, WANG C, et al. Three dimensional imaging based on ultrasonic linear phased array probe[C]//Nondestructive Evaluation testing, IEEE, 2014: 98-101.
- [28] 王常玺. 基于全采样数据的缺陷三维重建方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- WANG Changxi. The three-dimensional reconstruction of defects based on full matrix capture[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2015.
- [29] ZHENG F, MARK A F, LOWE M J S, et al. Nonintrusive estimation of anisotropic stiffness maps of heterogeneous steel welds for the improvement of ultrasonic array inspection[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics & Frequency Control, 2015, 62(8): 1530-1535.
- [30] BOUAZIZ S, NJIKI M, ELOUARDI A, et al. A real-time implementation of the Total Focusing Method for rapid and precise diagnostic in non-destructive evaluation[C]//IEEE, International Conference on Application-Specific Systems, Architectures and Processors. IEEE Computer Society, 2013: 245-248.

第 11 届海峡两岸声学学术交流研讨会顺利召开

第 11 届海峡两岸声学学术交流研讨会于 2018 年 7 月 26 日在香港理工大学顺利召开。此次大会由香港声学学会联合香港理工大学主办, 上海市声学学会、澳门声学学会、台湾声学学会、台湾噪音与振动学会以及上海章奎生声学工程顾问有限公司协办。来自上海、西安、广东、福建等地逾 20 人作为大陆代表参与此次盛会。上海市声学学会副理事长毛东兴、秘书长龚农斌、副秘书长丁玉薇、《声学技术》杂志张叔英主编、姚蓝执行主编等参加了会议。

在香港声学学会主席罗志永博士和香港理工大学陈立教授的欢迎致辞后进入大会主题演讲。马歇尔戴声学公司的托马斯·瑟娄博士以《过去十二年中国表演艺术中心之声学设计》为题, 介绍了马歇尔戴声学公司在中国的三个声学作品; 香港中文大学的林健枝教授做了《为城市缔造宜居的声环境》的主题演讲; 同济大学的毛东兴教授作为大陆代表以《宽频共振吸声结构及其应用》为题介绍了宽频共振吸声结构的吸声机理及其应用案例; 香港科技大学杨志宇教授以《薄膜类弹性超材料的降噪应用》为题介绍了薄膜类弹性超材料的降噪原理及其典型案例和应用前景。

除了上述四篇主题演讲外, 本届会议还分组交流了 24 篇学术论文, 内容涵盖建筑声学、环境声学、噪声治理、振动控制、噪声模拟、噪声标准、噪声地图、新材料新产品研发等多个技术领域。上海章奎生声学工程顾问有限公司的宋拥民博士、冯善勇博士、余斌硕士, 长安大学的李国华教授, 广东启源声学公司的罗钦平先生以及上海市环境科学研究院的周裕德教授级高工作为大陆代表在会议上发表论文并进行学术交流。论文提交者精心准备了 PPT 并逐次作精彩演讲, 与会代表则对感兴趣的报告进行了热烈的讨论, 取得了良好的交流沟通效果。

会议期间, 组委会在晚宴上对所有报告演讲者颁发了感谢状。此次学术交流研讨会既交流了学术, 又增进了友谊。与会代表对本届会议的日程安排、会务组织、论文发表、参观考察等十分满意, 并期待 2019 年第 12 届会议期间在大陆再次相聚。



全体代表合影



主协办单位代表合影

上海市声学学会
上海章奎生声学工程顾问有限公司