

超声检测技术的最新研究与应用

梁宏宝,朱安庆,赵 玲

(大庆石油学院,大庆 163318)

摘 要:介绍了超声检测技术的最新进展,包括非接触超声检测方法、信号处理方法和模式识别技术在超声检测上的应用、研究热点和发展前景,对不同非接触超声检测方法进行了比较。超声检测新技术的出现,使得超声检测中定性、定位和定量的可靠性得到提高,也使在高温和复杂结构中的超声检测变成现实。

关键词:超声检测;应用;发展;综述

中图分类号: TG115. 28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)03-0174-04

The Newly Research and Application of Ultrasonic Testing Technique

LIANG Hong-Bao, ZHU An-Qing, ZHAO Ling

(Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, China)

Abstract: Some recent development of ultrasonic testing, such as the application, research status and development trend of non-contact acoustic transducer was introduced, and its advantages and disadvantages were reviewed. Also, the signal processing method and model identification were described, which could improve the location accuracy and inspection reliability. Those new method and technology could solve some difficulties confronted while inspecting in conditions of high temperature and complicated structure.

Keywords: Ultrasonic testing; Application; Development; Survey

超声检测是一门综合技术,集传感器技术、信号处理技术、模式识别和图像显示等技术于一体。超声无损检测技术一直都是研究的热点,国外无损检测的文献资料中,有关超声检测内容的比例约占45%^[1]。超声检测技术的发展集中体现在无耦合、复合材料检测和自动检测等。笔者介绍最近几年非接触超声换能方法和超声导波技术、信号处理技术和模式识别在超声检测的应用、研究情况和发展趋势。

1 非接触超声换能方法和超声导波技术

1.1 空气耦合

因超声波在空气中的高声阻、强衰减(>150 dB)^[2],空气耦合技术以前应用不多。由于目前已经出现

>100 dB增益的低噪声放大器,可以很大程度上抵消超声波在空气中的损耗,使其可应用性有了很大的提高。空气耦合可进行快速扫查,易实现波形的模式转换,在大面积在线实时扫查、复合材料缺陷检测、表面成像等方面有着良好的应用前景。国内目前对其研究很少。国外许多国家已经将之应用于各种材料研究中。如比利时的 E Blomme 和德国的 R Stoessel 分别对几种复合材料中(如布料上的涂层以及铝板、钢板和薄铸件)的缺陷检测,得到比较满意的结果^[2,3]。美国 QMI 公司生产的空气耦合式数字超声波探伤仪,性能可与普通超声波探伤仪相比。意大利空军已将空气耦合用于飞机复合材料检测中。由于空气耦合衰减过大,适用的频率范围最高只能在 1 MHz 左右,而且作用距离短、带宽窄,限制了其应用范围。为了达到工业化应用的目的,超声的空气耦合正向两个方向发展,即① 研制适用于不同应用环境的空气耦合式超声波换能器。② 研制适用于工业化的在线检测系统。

收稿日期: 2006-09-18

基金项目: 黑龙江省科学技术攻关资助项目(GC05A521)

作者简介: 梁宏宝(1966—),男,教授,硕士研究生导师,从事无损检测和虚拟现实等方面研究,曾获第八届国家霍英东基金奖。

1.2 激光超声

激光超声是目前国内外研究最活跃的非接触超声换能方法。激光超声具有时间与空间上的高分辨力,为快速和远距离非接触超声波检测创造了条件。适用于常规压电检测技术难以检测的形状结构较复杂或尺寸较小的复合材料以及材料的高温特性等研究,如测定 CVD 金刚石薄膜的弹性常数^[4]、表面试件的应力状态^[5]、高温状态下陶瓷的弹性模量和内部温度分布^[6,7]以及飞机上各个部件的定位和成像^[8]等。国内同济大学声学研究所钱梦騄等对激光超声的特性和检测各种材料的力学特性进行了大量的研究。

激光超声应用的主要障碍是超声接收问题。目前的解决途径主要有三个,① 采用更高功率的激光器和有更强集光能力的干涉仪(如共焦的法布里-珀罗标准具等),以提高实际可利用的激光能量。② 采用表面修饰技术,如湿表面技术等,提高样品光学吸收效率,以在较低的光功率密度下产生满意的超声脉冲^[9]。③ 采用信号处理技术,如统计平均和自适应滤波等来抑制噪声,从而提高信噪比。从目前的发展趋势看,激光超声正向两个方向发展,即① 超快速激发机制及与微观粒子相互作用和微观特性等理论研究。② 工业用在线定位监测。

1.3 超声导波技术

超声导波技术的优点是长距离快速检测,探头无需对所检工件进行常规超声的逐点式扫查,适用于大型构件和长距离检测(如管道)。目前的热点是超声导波的应用研究。国外已成功地用超声导波对核工业、电力与石化等行业的管道、铁轨进行检测^[10]。美国的 T Hay 和英国的 P Cawley 应用导波检测铁轨间铝热焊和摩擦焊等形成的垂直轨道面方向的危险缺陷。英国 Guided Wave Ltd 公司生产的设备检测一段地上直径 20.32 cm 无覆盖的管道时,可以分辨出 60 m 外的焊缝缺陷信号。国内导波研究也非常活跃。同济大学声学研究所刘镇清、北京工业大学何存富、西安交通大学张锐等人进行了对各种管材导波检测的大量的理论和应用研究。超声导波技术正向着两个方向发展,即① 对一些大型构件检测的理论研究,如航天行业。② 一些其他方法很难检测到的损伤与缺陷材料检测的研究,如纤维增强型复合材料^[11,12]。

1.4 超声换能器方法比较

不同超声换能方法的优缺点如下:

(1) 常规探头

优点:制造工艺简单、体积小、重量轻。

缺点:必须使用耦合剂,易磨损,很难激发横波,测量精度不高。不适用于小半径的管材检测、自动检测和高温实时检测。

(2) 电磁耦合

优点:无需加入声耦合剂、利于产生横波、重复性好、检测速度高。适用较高温度工件检测。

缺点:转换效率较低,灵敏度取决于探头与探伤对象的间隙,需要特殊夹具。不能真正进行高温实时检测。

(3) 空气耦合

优点:无需耦合剂,可快速扫描,易实现波形的模式转换。适用于快速运动工件的非接触检测。

缺点:转换效率低、检测信号的衰减很大、作用距离短、带宽窄、对系统的要求很高。

(4) 激光超声

优点:无需耦合剂,不需要精确地控制表面和换能器之间的角度,检测点很小。适用于高温和快速运动等需非接触检测的工件和形状结构较复杂或尺寸较小的工件。

缺点:超声接收灵敏度低、系统复杂、体积庞大、造价昂贵,需要严格的激光防护措施。

(5) 超声导波

优点:发射能量大,工作频率小,在工件中能量衰减小,可以大大提高检测范围。对管道环状截面上的缺陷、分层和脱胶较敏感。适用于大型构件和管道检测。

缺点:只是一种快速大范围的初步检测方法,只能对缺陷定性,而定量是近似的,对可疑部位仍需要采用其它检测方法才能作出最终的评估。对于轴向缺陷检测相对较弱。

2 信号处理和模式识别方法

探头输出的信号带有噪声,尤其是当采用非接触超声换能方法、材料微结构的不均匀(如粗晶奥氏体)和被测结构的某些界面或边界的多层反射时,就需利用信号分析技术,从中提取回波信息。为了克服超声检测结果依然停留在经验和各种图表上,过多地受人为因素影响的缺点,发展了超声信号自动识别技术。下面介绍两种信号处理和模式识别的方法。

2.1 自适应技术

自适应技术是一种利用噪声与被测信号不相关

的特点而补偿抵消的方法,是基于自适应滤波器原理的一种扩展应用^[13]。

自适应技术可以自动调节检测噪声传感器的参数,使噪声抵消效果达到最佳。自适应技术在含有噪声的信号的检测增强、噪声干扰的抵消^[14]、波形编码的线性预测^[15]、图像自适应压缩编码^[16]、图像自适应增强复原^[17]和图像识别的自适应分割^[18]等方面应用广泛^[19]。基于小波变换的自适应滤波方法成了目前研究的热点^[20-22]。北京航空工艺研究所基于这种技术,成功制造出超声自适应扫描成像检测机器人。

2.2 人工神经网络

人工神经网络是目前研究最多的一种识别方法^[23]。人工神经网络具有强大的学习能力,易于实现并行运算,而且便于硬件上实现,从而可大大提高速度;可实现缺陷的分类,具有很高的识别准确度,对于不完全、不够清晰的数据同样有效;它的自组织和自适应学习功能大大放松了传统识别方法所需的约束条件,使其对某些识别问题显出极大的优越性^[24]。

人工神经网络在超声无损检测中有大量的应用,其中包括以固有频率为特征量,利用人工神经网络实现复合材料中缺陷类型的识别^[25];利用脉冲回波幅度作为特征量训练人工神经网络,实现对横穿孔、平底孔及裂缝等缺陷类型的识别^[26]。人工神经网络在超声无损检测中的应用还有强噪声影响下的缺陷回波识别^[27],提高粗晶材料结构的信噪比^[28]、混凝土的设计强度识别^[29]、三维超声识别定位^[30]、跟踪识别周期的参考轨迹^[31]等,而且研制了许多专家系统^[32,33]。目前最热点的问题是基于一小波变换的人工神经网络研究。中国台湾的 Lin F J, Wai R 等用在线的可变学习速率的人工神经网络控制识别具有高性能动态参数的两轴线运动控制系统^[34]。在第 11 届亚太地区无损检测会议上,中国杨理践等用基于一小波变换的人工神经网络分别对管道漏磁检测和评价钢中宏观夹杂物的信号进行识别。韩国 Jeong TakMin, Jin Woole 利用基于一小波变换的人工神经网络实现了起重机缆索缺陷识别。虽然关于人工神经网络的研究很多,但主要限于实验室阶段的对缺陷的分析,研制开发基于神经网络的智能超声无损检测系统是下一步的发展目标。Adaptronics 公司研制的 ALN4060 智能超声探伤仪即是一例。

3 结束语

现代工业与科技的发展使得超声检测技术在各

方面都有了长足的进步。超声检测技术正向着数字化、自动化、智能化、图像化和多领域方向发展,以实现复杂形面复合构件的超声扫描成像无损检测,满足现代质量对无损检测的要求。

参考文献:

- [1] 罗雄彪,陈铁群. 超声无损检测的发展趋势[J]. 无损探伤, 2004, 28(3): 1-5.
- [2] Blomme E, Bulcaen D, Declercq F. Air-coupled-ultrasonic NDE, experiments in the frequency range 750 kHz ~ 2 MHz[J]. NDT & E International, 2002, 35(7): 417-426.
- [3] Stoessel R, Krohn N. Air-coupled ultrasound inspection of various materials[J]. Ultrasonics, 2002, (40): 159-163.
- [4] Qian M L, Hu W X, Xu W J, et al. Determination of surface elastic constants of CVD diamond sheet by laser ultrasonics[J]. Rev Progress in QNDE, 2001, 20(557): 1383-1388.
- [5] Duquenooy M, Qraftouh M, ML Jenat F, et al. Ultrasonic characterization of residual stresses in steel rods using a laser line source and piezoelectric transducers[J]. NDT and E International, 2001, 34(ER5): 355-362.
- [6] Matsumoto Takahiro, Nose Tetsuro. Measure ment of high-temperature elastic properties of ceramics using a laser ultrasonic method[J]. Journal of the American Ceramic Sciency, 2001, 84(7): 1521-1525.
- [7] Matsumoto Takahiro, Nagata Yasuaki. Laser ultrasonics for measurements of high-temperature elastic properties and internal temperature distribution[J]. Review of Scientific Instruments, 2001, 72(6): 2777-2783.
- [8] Monchalin J P, Aussel J D, Bouchard P, et al. Laser-ultrasonic for industrial applications[J]. Rev Prog Quant NDE, 2000, 7B(10): 1607-1714.
- [9] Woch S C, Zhou Q. Behavior of laser-induced ultrasonic waves radiated from a wet surface. Part I: Theory, Part II: Experimenta l work[J]. Appl Phys, 2001, 89(6): 3469-3477, 3478-3485.
- [10] 刘镇清,刘 骁. 超声无损检测的若干新进展[J]. 无损检测, 2000, 22(9): 403-405.
- [11] 陈积懋. 声学综合无损检测技术[J]. 中国工程科学, 2000, 2(4): 64-69.
- [12] 何存富,吴 斌,范晋伟. 超声柱面导波技术及其应用研究进展[J]. 力学进展, 2001, 31(2): 203-214.
- [13] 高晋占. 微弱信号检测[M]. 北京:清华大学出版社,

- 2005.
- [14] 简晓明,李明轩,张建生. 层状介质界面超声检测的理论分析和自适应噪声抵消处理[J]. 声学学报,2000,25(4):351—356.
- [15] 刘 洪, Sacchi M D. 应用线性预测和自适应加权最小二乘进行非均匀带限信号去假频[C]. CPS/SEG2004 国际地球物理会议论文集. 北京:2004.
- [16] 骆长江,俞能海. 基于分块自适应预测的超声测井图像无损压缩编码[J]. 中国图象图形学报,2001,6(A):168—171.
- [17] 王修信,胡维平. 基于小波分析的超声医学图像非线性增强[J]. 计算机工程与应用,2005,41(18):197—199.
- [18] 王建栋,冯前进,陈武凡. 基于模糊增强的医学超声图像分割[J]. 中国医学物理学杂志,2005,22(2):450—452.
- [19] 张小飞,王 茁,周有鹏. 超声检测中的噪声处理[J]. 无损检测,2002,24(5):200—202.
- [20] 简晓明,李明轩. 小波变换和自适应噪声抵消在闭合裂纹超声检测中的应用[J]. 声学学报,2000,25(2):97—102.
- [21] 顾向华,郑祥明,雷永平,等. 改进的自适应滤波方法及其在粗晶材料超声检测中的应用[J]. 无损检测,2003,25(10):504—506.
- [22] 罗雄彪,万 英. 基于小波变换的超声信号自适应消噪方法研究[J]. 无损检测,2005,27(12):617—620.
- [23] 张海燕,刘镇清. 人工智能及其在超声无损检测中的应用[J]. 无损检测,2001,23(8):356—360.
- [24] 刘镇清,张海燕. 人工神经网络及其在超声检测中的应用[J]. 无损检测,2001,23(5):221—225.
- [25] 王宏涛,刘利锋,周来水,等. 基于模态分析和 BP 神经网络的复合材料脱层损伤监测研究[J]. 中国机械工程,2005,16(3):239—242.
- [26] 简晓明,李明轩. 超声检测中人工神经网络对缺陷定量评价[J]. 声学学报,2000,25(1):71—77.
- [27] Ciccan R, Petulescu P. The use of the neural networks in the recognition of the autsonitic steel types[J]. NDT & E Int,2000,33(2):85—89.
- [28] Vicen R, Gil R, Jarabo P, et al. Non-linear filtering of ultrasonic signals using neural networks[J]. Ultrasonics,2004,42(19):355—359.
- [29] Kim S D, Shin D H, Lim L M, et al. Designed strength identification of concrete by ultrasonic signal processing based on artificial intelligence techniques [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics & Frequency Control,2005,52(7):1145—1151.
- [30] Unnikrishnan N, Mahajan A, Chu T. Intelligent system modelling of a three—dimensional ultrasonic positioning system using neural network and genetic algorithms Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers — Part I [J]. Journal of Systems & Control Engineering,2003,217(5):367—377.
- [31] Lin F J, Wai R J, Huang P K. Two-axis motion control system using wavelet neural network for ultrasonic motor drives[J]. IEE Proceedings — Electric Power Applications,2004,151(5):613—621.
- [32] 张晓光,李 浴,徐健健. 基于神经网络的焊缝缺陷识别专家系统[J]. 计算机工程,2003,29(17):22—23.
- [33] 汪 锐,郑晓丹,何丹农. 基于人工神经网络的冲裁件缺陷诊断专家系统[J]. 上海交通大学学报,2001,35(7):977—980.
- [34] Faa-Jeng Lin, Rong-Jong Wai, Mu-Ping Chen. Wavelet neural network control for linear ultrasonic motor drive via adaptive sliding-mode technique[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics & Frequency Control,2003,50(6):686—698.



(上接第 158 页)

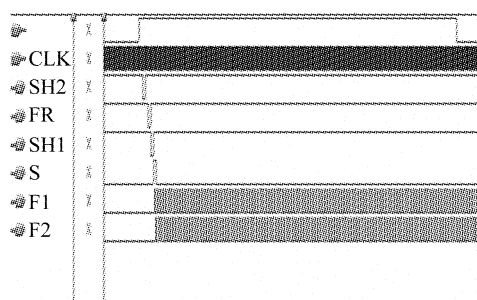


图 5 仿真波形局部放大图

电路是一种非常有效的办法,通过修改 VHDL 程序

中记数置数的数值、触发条件和通过编写一些截断信号进行逻辑运算操作,就可以满足图像传感器的驱动要求。该驱动信号源能够为 X 射线图像传感器提供稳定可靠的工作信号。该编程思路对不同图像传感器的驱动电路的设计和解决应用过程中出现的问题有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 袁祥辉. 固体图像传感器及其应用[M]. 重庆:重庆大学出版社,1996.
- [2] 张文普,袁祥辉. 基于 CPLD 的 X 射线图像传感器驱动信号源的研究[J]. 传感技术学报,2003,(2):187.