

AU2000 声-超声复合材料检测系统研制

刘时风 王 勇

(清华大学机械工程系 北京 100084)

陶雪荣 陈显锋

(国家质量技术监督局锅炉压力容器检测研究中心 北京 100013)

摘 要 本文介绍了 AU2000 声-超声复合材料检测系统的系统组成、功能特点, 并利用该仪器对蜂窝结构层板和纤维增强板等复合材料粘接层质量进行了分析评估。

主题词 声-超声 复合材料 谱分析 小波分析

复合材料的形成过程往往与复合材料制品生产过程同步, 因此复合材料性能和复合材料制品质量的无损检测同金属材料及其制品相比更为重要。随着计算机技术和数字信号处理技术的发展, 声-超声检测技术应运而生, 它将声发射的信号分析方式与材料特性对超声波的传播影响相结合, 特别适合复合材料结构、粘接区域接缝中的细微裂纹及相关强度变化的无损检测与评定^[1]。为实现和完善复合材料性能及制品质量的无损检测, 国家质量技术监督局锅炉压力容器检测研究中心和清华大学共同研制了 AU2000 声-超声复合材料检测系统, 并就复合材料粘接质量评估进行了应用研究。

1 AU2000 检测系统基本原理

声-超声技术通常采用 0.1~2.0MHz 的频率。检测时需有两个传感器, 一个用于发射, 另一个用于接收, 脉冲发生器产生一系列的超声脉冲, 发射传感器通过适当的耦合介质将超声脉冲信号耦合到受检的复合材料表面。信号受到传播路径上各种因素的影响, 会发生散射、模式转换及衰减, 接收传感器收到声波信号后, 将信号传输到采集卡, 计算机通过信号处理软件分析后能提供大量的有用检测信息^[2, 3]。目前声-超声信号的分析方法主要有应力波因子法和频谱分析法, 应力波因子法主要检测应力波能量的衰减率, 此法受耦合压力等因素的影响较大; 频谱分析法主要通过解调检测到的声波信号来分析和判别材料内部缺陷和机械性能变化, 此法受耦合剂和耦合压力的影响较小, 但分析过程要复杂一些。研制的 AU2000 系统采用的是频谱分析的模式, 并在此基础上加强了小波分析等数字信号处理方法的应用。

2 AU2000 检测系统组成

现代检测技术发展趋势的直接结果是使检测系统变成了“传感器+智能板卡+计算机”的模式。这种模式使得检测系统能够具有很好的可维护性和多功能性。只需改进软件和板卡就可以实现不同的功能。AU2000 检测系统采用了高度集成化的智能板卡和 Windows 可视化编程技术, 在能够提供足够多功能的前提下, 实现用户操作的尽量简单化以及人机界面的尽量直观化。系统组成如图 1 所示。

采集卡为高性价比且基于 32 位 PCI 总线用于 PC 机的数据采集卡, 采集速度可达到每秒钟 20M 个采样点, 可连续、高速进行 A/D 采集, 适用于各种模拟信号的实时采集。

超声发射卡为 ISA 总线结构的程控 PC 机插卡，脉冲能量大，重复频率高，可按设定的重复频率、能量、衰减等级和触发方式发出高压电脉冲。

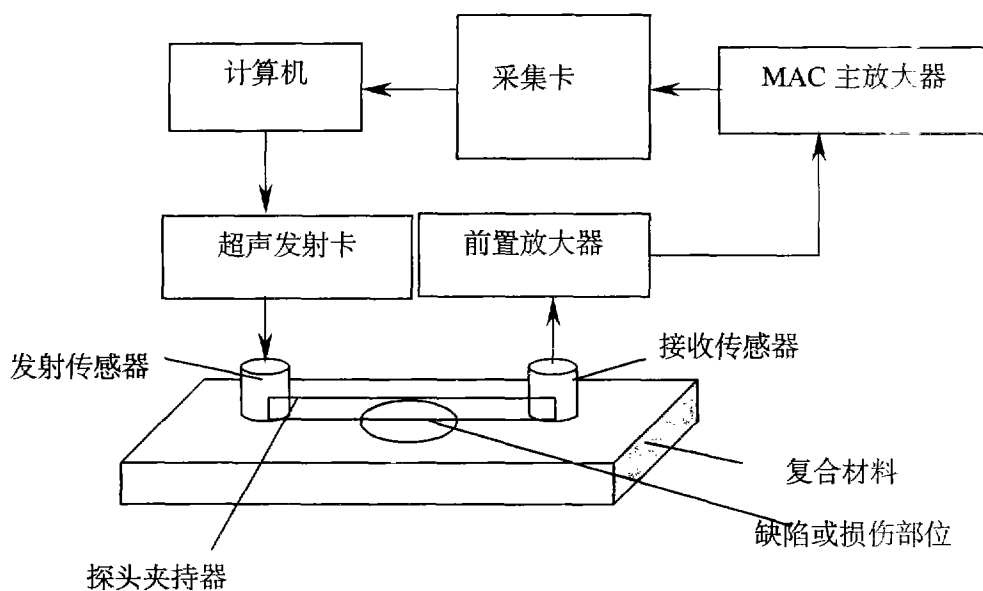


图 1 AU2000 检测系统结构图

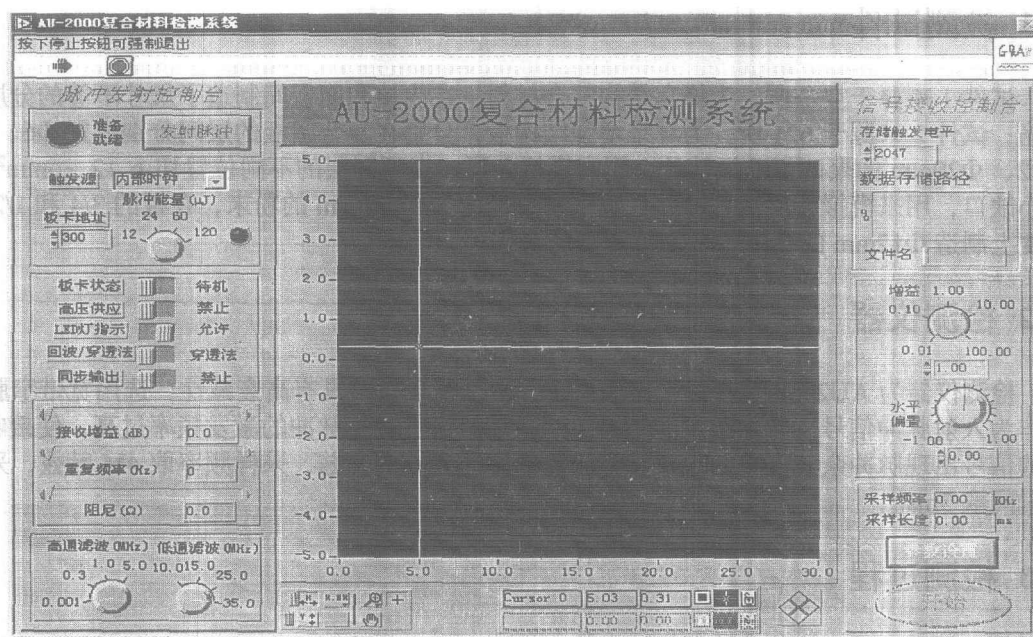


图 2 AU2000 检测系统主界面图

传感器能否灵敏而正确地转换信号,将直接影响整个检测系统的检测精度。AU2000检测系统的发射传感器需根据所测复合材料选用泛美公司生产的 A605S 超声发射传感器,该传感器的脉冲较窄,频带也较宽。接收传感器考虑到信号的频段和所采用的处理方法,选用 PAC 公司的 WD 宽带声发射传感器,其灵敏度在 50mv 左右,带宽为 100K ~1000K 赫兹。

系统软件实现了 AU2000 检测系统信号发射、采集及分析的智能化,主界如图 2 所示。

3 AU2000 检测系统功能及特点

(1) 数据采集卡采样速度快,可达到每秒钟 20M 个采样点,该采集卡有四个通道,每一通道都有独立的 A/D 转换芯片和存储器,各通道之间信号采用率高,且每通道可以独立设置输入范围,为不同环境下的检测提供了保障;

(2) 超声发射卡的所有功能设置均在计算机主机控制下完成,利用控制软件可以很精确地控制脉冲参数,得到满足各种需求的脉冲信号;

(3) 控制软件程序将对硬件的复杂的操作完全封装起来,由程序自己去完成,而用户仅仅需要掌握了最基本的 Windows 操作技能(比如:单击、输入),就可以完成对整个系统的所有操作;

(4) 分析软件程序提供了强有力的数字信号处理功能,主要包括参数分析(振铃计数、门限值、能量幅值等)、频谱分析、小波分析及模式识别等。

4 粘接质量检测试验

4.1 检测试件

试件 1 来源于空一所,为蜂窝结构复合材料,在内核和面板间制造了尺寸不等的分层缺陷;试件 2 来源于 621 所,为纤维增强结构板,分别在复合层板的层间分别放置 $\Phi 6$ 、 $\Phi 12$ 、 $\Phi 20$ mm 的聚四氟乙烯箔片,用来模拟分层,在不同层的不同位置切下 $12 \times 6\text{mm}^2$ 的小缺口,用来模拟胶层疏松,并且选用了直径为 $30 - 50 \mu\text{m}$ 的粉末,在板的 $3/4$ 和 $1/2$ 深度上制造 $\Phi 12\text{mm}$ 的孔隙,来模拟真实的气孔。

4.2 检测仪器

检测仪器为 AU2000 复合材料检测系统,由于复合材料具有高衰减性,选用宽带窄脉冲作为入射脉冲信号,脉冲激发能量是 120 微焦。为了避免脉冲的激发频率过高,使接收到的信号出现脉冲余波混叠的现象,将激发频率选为 600 赫兹,采样频率取 4M 赫兹,采样时间取 3ms。

4.3 检测过程

将发射传感器和接收传感器按固定距离,用白凡士林分别耦合在试件材料的同侧表面上,通过控制软件设置好各种参数,发射超声脉冲,采集声-超声信号并存入计算机,用分析软件进行数字信号处理。

4.4 试验结果与分析

脉冲激励 3 (a) 通过白凡士林被引入板材结构试件, 其频谱为 3 (b) 在经过材料传播后得到的声 - 超声波形和频谱图为 3 (c)、(d)、(e)、(f)。从图中可以看出, 针对该种材料, 声 - 超声信号能量主要集中在 200K ~500K 赫兹范围内, 有缺陷信号 3 (e) 在时域幅值比无缺陷信号 3 (c) 小, 在频域缺陷信号除主频分布较散外还出现了 550K 赫兹的高频信号。

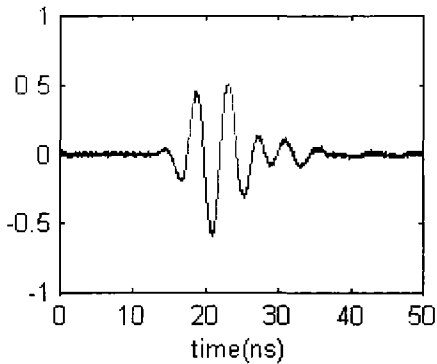


图 3 (a) 脉冲信号波形

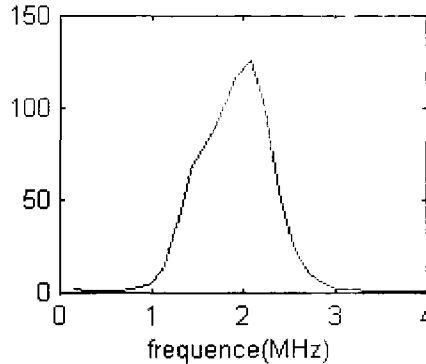


图 3 (b) 脉冲信号频谱

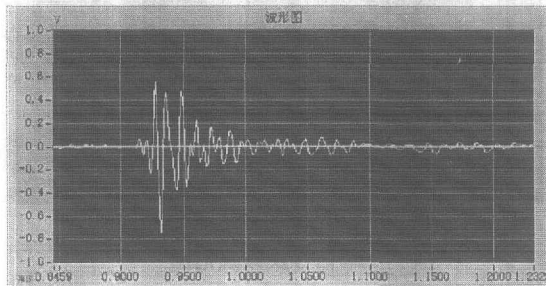


图 3 (c) 无缺陷信号波形

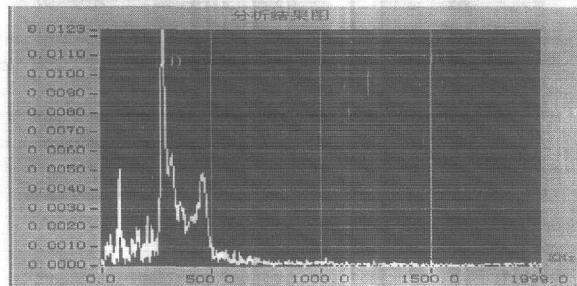


图 3 (d) 无缺陷信号频谱

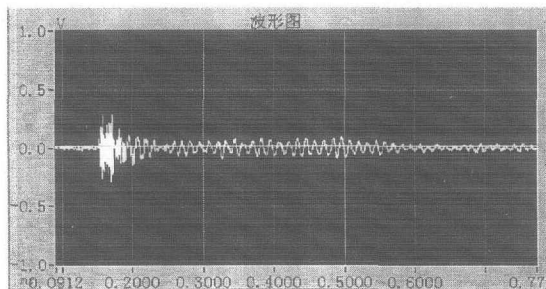


图 3 (e) 缺陷信号波形

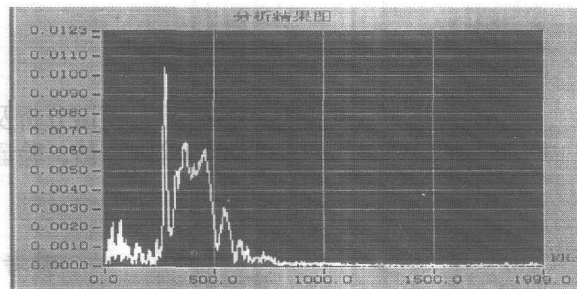


图 3 (f) 缺陷信号频谱

频谱图所提供的信息是信号特征中较“粗”的信息, 其信息量少, 仅仅根据频谱特征描述信号在很多实际情况下是远远不够的。在这种情况下, 为了获取信号的细节信息,

就要求能识别频谱图的细微结构，就必须要求信号分析系统既要有高的频率分辨率，又要有较宽的频率范围，对于利用傅立叶变换做频谱分析来说，这两者是相互矛盾的。小波变换是解决两者矛盾的最好方法。在利用傅立叶频谱分析确定信号主频的基础上，采用小波变换来获取关于信号的细微信息，把两种信号处理方法有机地结合起来，以便获取信号较全的信号特征^[4]。

图 4 的下部是对信号进行小波分解后重构细节信号，其横坐标代表的是采样的离散点数，相当于时间，纵坐标是信号的大小；上部是小波变换后重构信号的频谱，试件材料缺陷第三级重构信号所带的能量最高，是信号的主能量频带。随着缺陷的增大，材料机械性能的降低，重构的频谱图上出现的谱峰增多，信号的低频范围的主频信号会变弱，其它的主频信号会相对增强。另外传感器采取的是宽发宽收模式，信号的冗余量较大，在进行一定量的试验，初步了解特征信号的频段以后，进一步选取特定的发射和接收传感器，信号的特征更加明显，分析和处理也简单一些。

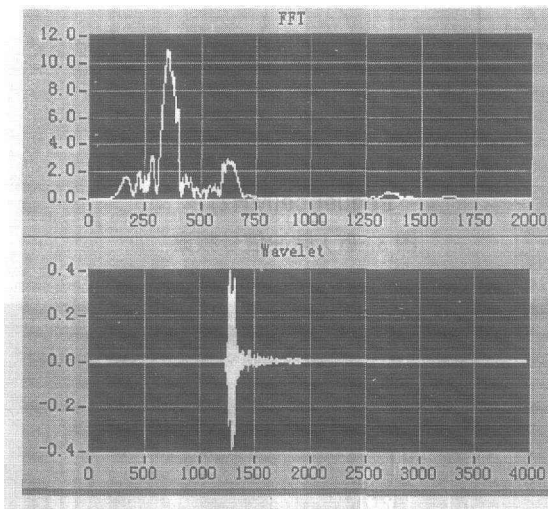


图 4 (a) 无缺陷信号小波分解信号及其频谱图

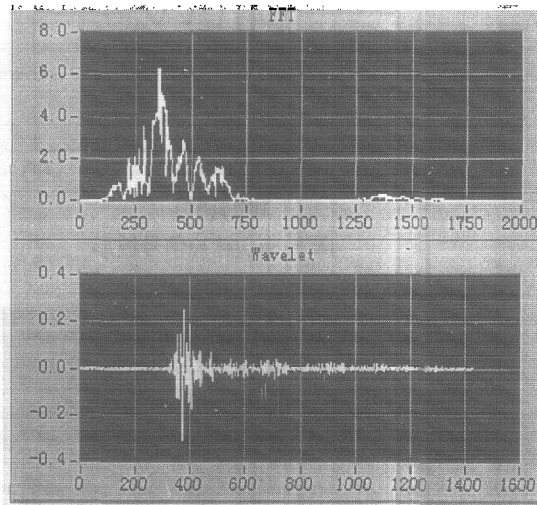


图 4 (b) 分层缺陷信号小波分解信号及其频谱图

5 结论

AU2000 检测具有参数分析、频谱分析及小波分析的数字信号处理功能，该通过对 2 种带人工缺陷试件粘接质量的检测评估，验证了 AU2000 检测系统功能的有效性。

参考文献

- [1] Oh-Yang Kwon, Seung-Hwan Lee. Acousto-ultrasonic evaluation of adhesively bonded CFRP-aluminum joints, NDT&E international 32(1999). pp 153-160
- [2] Vary A, Bowles KJ. An ultrasonic-acoustic techniques for nondestructive evaluation of fiber composite quality. Polymer Engineering Science 1979,19(5):373-6
- [3] 张斌, 王美玲. 用声-超声方法检测纤维增强复合材料分层缺陷的研究, 全国第五届声发射技术学术讨论会论文集, 1993. pp 8-16

[4] 杨福生, 小波变换的工程分析与应用, 北京: 科学出版社, 1999

DEVELOP AU2000 ACOUSTO-ULTRASONIC DETECTING SYSTEM OF COMPOSITE

liu Shifeng Wang Yong

(Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Tao Xuerong Chen Xianfeng

(National Center of Boiler & Pressure Vessel Inspection & Research Beijing 100013)

ABSTRACT The composition and characteristic of AU2000 acousto-ultrasonic detecting system of composite are described. With this system, the research concentrated on the application of acousto-ultrasonic techniques for the bond quality of adhesively bonded of the honeycomb sandwich construction and fiber reinforced composite plates.

KEYWORDS acousto-ultrasonic, composite ,spectrum analysis ,wavelet analysis