

无人机复合材料超声检测系统的设计研究

周海林, 褚丽娜, 李建增
(军械工程学院, 河北 石家庄 050003)

摘要: 针对无人机复合材料的特点设计了一个超声检测系统, 阐述了系统超声探头频率的选择、数据采集的硬件和软件实现方法。采用该系统对玻璃纤维复合材料进行缺陷检测, 实验结果表明, 可以通过超声回波信号的幅值直接判断出缺陷的尺寸。

关键词: 超声检测; 复合材料; 探头

中图分类号: TB330. 1

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)18-0063-03

Design and study of ultrasonic test system in composite materials of unmanned aerial vehicle

Zhou Hailin, Chu Lina, Li Jianzeng
(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: On the basis of the characteristics of composite materials of UAV (Unmanned Aerial Vehicle), ultrasonic test system is designed. Principle of the ultrasonic sensor, selection of the sensor frequency, hardware and software of data acquisition were described. Defect on glass fiber composite materials was inspected by this system. The experimental results demonstrate that the amplitude of ultrasound echo shows the defect size.

Key words: ultrasonic test; composite materials; sensor

近年来, 玻璃纤维、碳纤维、卡夫隆等复合材料越来越广泛地应用于飞机的雷达罩、垂直尾翼、襟板、副翼等结构, 对材料可靠性和安全性的要求越来越高。在复合材料的制造和使用过程中, 不可避免地产生脱胶、减薄、变质、分层、孔洞等各种缺陷, 大大影响了结构的强度, 还有可能造成灾难性的后果^[1-2]。利用超声波在材料中的传播特性实现对材料内部缺陷的无损检测已广泛应用于研究机构和工业部门中^[3-9]。

传统超声检测主要基于手工探伤, 自动超声检测不仅减少人为误差, 而且具有数据存储和处理的功能, 可以实现自动判伤和缺陷定位。本文针对无人机机体的复合材料结构特点, 根据超声波的衰减、反射特性, 研制出一种能自动检测无人机复合材料结构缺陷的超声检测系统。

1 检测对象和系统方案

检测对象为厚度 15 mm 的玻璃纤维复合材料, 超声检测系统的功能就是实现对这些材料内部结构缺陷进行无损检测和分析。复合材料是低阻抗材料, 超声在复合材料中传播衰减很大, 要想获得复合材料内部缺陷的信息必须保证超声回波能足够被探测到, 而超声传感器

的频率选择是声波在层状介质中反射和穿透能力的关键。频率低, 穿透能力强, 但分辨率低; 频率高, 波长短, 方向性好, 发现小信号的能力强, 亦能准确判定缺陷位置。通过分析层状结构的状态转移矩阵, 可以得到多层粘接结构的超声回波的反射系数模型和透射系数模型^[10]。

反射幅度系数:

$$R = \frac{Z_{N+1}A_{11} + Z_1Z_{N+1}A_{12} - A_{21} - Z_1A_{22}}{Z_{N+1}A_{11} - Z_1Z_{N+1}A_{12} - A_{21} + Z_1A_{22}} \quad (1)$$

透射幅度系数:

$$D = \frac{A_{21}}{Z_1}(1-R) + A_{22}(1+R) \quad (2)$$

其中 R 为反射回波幅度, D 为透射波的幅度, A_{ij} 为各层的转移矩阵, Z_i 为各层介质的声阻抗。利用式(1)和式(2)可以得到复合材料结构超声检测频率与透射系数之间的关系, 如图 1 所示。从图中可以看出复合材料的最优检测频率均为 0.5 MHz 及其倍频。考虑衰减对频率的依赖效应, 本文选择低频超声双晶纵波探头, 中心频率为 0.5 MHz, 采样频率为 80 MHz。

基于工控机的超声检测系统主要由超声探头、超声发射/接收装置、探头驱动机构、工控机等组成, 检测

技术与方法

Technique and Method

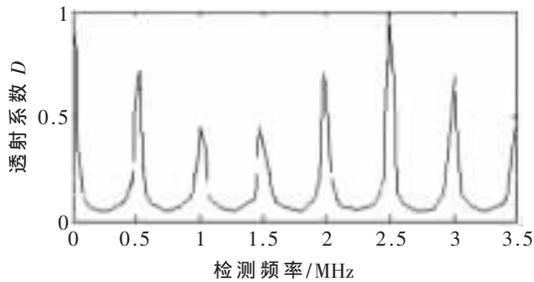


图1 复合材料中透射系数与频率的关系

系统结构如图2所示。通过单片机扫描控制电路,超声探头在电机控制下沿着被检复合材料结构表面运动,同时启动探头的轴向和切向位移传感器获得超声探头的位移信息,并送回单片机扫描控制电路实现探头在复合材料表面的扫描运动,同时为实现缺陷定位提供坐标信息;超声波发射/接收卡发射超声换能器的激发脉冲信号对超声回波进行预处理,并通过高速采集卡实现回波信号的数据采样和存储;工控机系统对上述各部分实施控制,同时对接收信号进行数字滤波、信号处理、特征提取和测试结果显示,从而实现复合材料的超声无损检测。

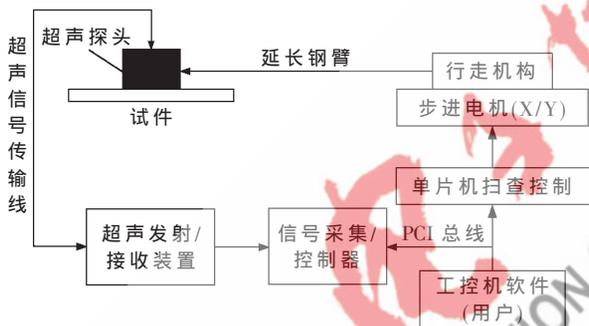


图2 超声检测系统原理示意图

2 数据采集

超声回波信息的采集利用超声发射/接收装置和探头实现。超声发射/接收装置由超声波高压激励电源DC 600 V、超声波发射电路、接收电路(包括限幅保护电路、高频程控放大电路、高速数据采集电路、译码电路、同步电路组成,其结构如图3所示。常见的脉冲超声发射/接收电路设计一般同步信号产生电路和接收放大电路,多用模拟的方法实现,灵敏度、灵活性都不是很高,调试起来

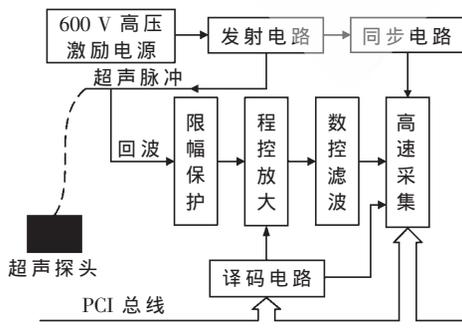


图3 超声发射/接收装置组成框图

也不方便。本系统采用以80C196MC单片机为主控元件的数字方式同步信号产生电路和以AD8045运算放大器为主的放大滤波电路,硬件结构简单,调试方便,克服了上述模拟电路的缺点,在实际应用中取得了良好的效果。

高速数据采集电路的功能是在计算机的控制下将经调理后的超声模拟信号转换为数字信号,并经数字滤波后将转换数据存入高速缓存。当转换结束后,计算机可通过PCI总线对缓存中的数据进行读取,从而对其进行一系列的运算操作和结果显示。该模块主要有两种工作方式:数据采集方式和计算机读取方式。工作于数据采集方式时,接口电路接收到计算机发出的采集启动命令之后,控制电路控制数模转换器采样并将转换数据存入卡载高速缓存;工作于计算机读/写方式时,可将板载高速缓存视为计算机的扩展内存,计算机可以直接读取转换后的数据。

基于超声发射/接收装置的结构,通过VC++6.0编程开发,实现仪器功能。超声信号的数据采集流程如图4所示。整个数据处理软件分为两大模块:实时数据的采集与存储模块、数据分析处理与显示模块。由于超声信号频率较高,要求的采样频率很高,因此实时数据的采集和存储模块使用嵌入汇编语言的C语言编制。这主要是由于嵌入汇编语言的C语言能充分利用机器的硬件结构特点,直接与操作系统进行接口,对输入输出设备直接进行操作,实时性能好,而且程序代码短、效率高、节省内存,执行速度快,从而可以满足大量数据的精确实时采集与存储。

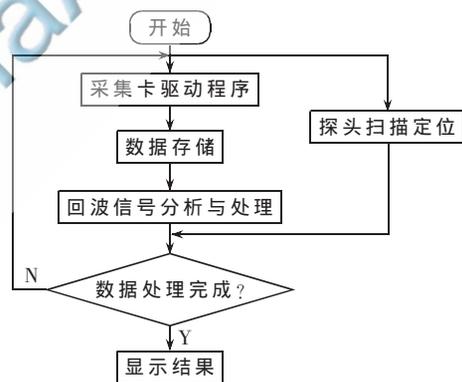


图4 数据采集流程图

3 实验结果

检测玻璃纤维复合材料的信号经过去均值、归一化后如图5所示。无缺陷时,可以清晰地分辨超声发射和回波的波包,缺陷出现后,发射波包和回波波包互相叠加为一个新的波包,且随着缺陷等效直径的增大,信号的峰值逐渐减小,具体数据见表1。

将信号的峰值关于缺陷等效面积作曲线二次拟合,如图6所示。拟合表达式如下:

$$y = -9.1 \times 10^{-7} x^2 + 1.6 \times 10^{-4} x + 0.54 \quad (3)$$

其中, x 为缺陷等效面积,单位为 mm^2 ; y 为信号归一化后的峰值。

技术与方法 Technique and Method

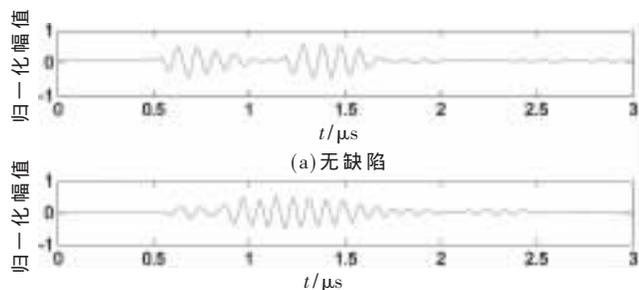
(b)缺陷等效直径 $\varphi=10$ mm

图5 信号图

表1 不同缺陷信号峰值数据

缺陷直径 φ/mm	归一化后信号峰值
0	0.555 4
10	0.530 7
20	0.511 6
30	0.501 5

拟合曲线与原始数据的误差最大为3.6%，可以根据测得超声信号的峰值由式(3)近似计算得到试件内部缺陷的等效面积。

本文根据超声检测信号的特点，结合实际检测对象，对无人机复合材料超声检测系统中传感器选择、数据采集和软件设计等关键问题进行了探讨。利用该系统对不同面积缺陷的玻璃纤维复合材料进行检测实验，实验结果表明，随着缺陷面积的增大，回波信号的峰值逐渐减小，可以通过信号的时域峰值直接判断出缺陷的尺寸。

参考文献

- [1] QUAFTOUTH M, XU W J. Evaluation of adhesion by means of high frequency ultrasound[J]. Journal de Physique, 1992 (2): 835-838.
- [2] SIMONETI F. Lamb wave propagation in elastic plate coated with viscoelastic materials[J]. Journal of Acoustical America,

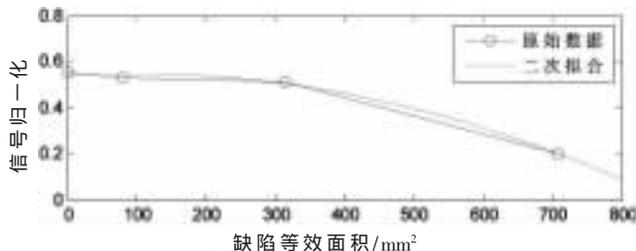


图6 信号峰值与缺陷等效面积的拟合曲线

2004, 115(5): 2041-2053.

- [3] 李凌. 碳纤维复合材料数字化超声检测系统关键技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [4] 郑钢丰, 吴斌, 何存富. 非均匀介质中的缺陷响应研究[J]. 应用力学学报, 2010, 27(3): 510-516.
- [5] 刘晓明, 王程, 蒋金华, 等. 高性能纤维在预型件加工过程中的损伤分析[J]. 玻璃钢/复合材料, 2008(4): 25-29.
- [6] 李涛, 高兴, 尚伟辉, 等. 船舶用复合材料的性能研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2011(2): 32-35.
- [7] 蔡建丽, 余欢, 王云英, 等. 玻璃钢蜂窝夹层结构制品常见缺陷修补技术[J]. 玻璃钢/复合材料, 2011(1): 44-47.
- [8] KRASNOVA T, JANSSON P A, BOSTROM A. Ultrasonic wave propagation in an anisotropic cladding with a wavy interface[J]. Wave Motion, 2005, 41: 163-177.
- [9] AHMED S, THOMPSON R B, PANETTA P D. Ultrasonic attenuation as influenced by elongated grains[J]. Review of Progress in QNDE, 2003, 21: 109-116.
- [10] 敦怡. 金属基复合材料结构深层界面缺陷检测研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2007.

(收稿日期: 2012-04-23)

作者简介:

周海林, 男, 1978年生, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 无损检测。