

文章编号: 1001-3806(2017)03-0351-05

太赫兹无损检测可视化系统的设计

周宇, 王天一, 李文军, 游承武, 杨振刚*, 王可嘉, 刘劲松

(华中科技大学 光学与电子信息学院 武汉光电国家实验室, 武汉 430074)

摘要: 为了改进太赫兹无损检测过程的有效性和可靠性, 搭建了一套可以快速进行太赫兹无损检测的可视化系统。系统采用设计的太赫兹调频连续波成像装置来采集检测数据, 利用 MATLAB 的图形用户界面开发一套集成图像处理和 3 维重构等功能的可视化软件平台来分析数据, 并用该系统来检测一个内部含金属的高分子隔热瓦样件。结果表明, 搭建的太赫兹无损检测可视化系统能对高分子隔热瓦的内部结构进行有效观察检测, 并运用其软件平台的内部图像处理算法进行合理分析, 将内部预埋金属缺陷的大小以及轮廓直接显示在计算机上, 提高了无损检测结果的准确性, 大大降低太赫兹无损检测的难度与数据分析周期。该系统的设计在实际工业应用中具有高效、简洁、实时的特点。

关键词: 激光技术; 成像系统; 无损检测; 图像处理; MATLAB 图形用户界面

中图分类号: TN247

文献标志码: A

doi:10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2017.03.010

Design of visualization systems for terahertz non destructive testing

ZHOU Yu, WANG Tianyi, LI Wenjun, YOU Chengwu, YANG Zhengang, WANG Kejia, LIU Jinsong

(Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, School of Optical and Electronic Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to improve the validity and reliability of terahertz non destructive testing (NDT), a set of visualization system for terahertz NDT was set up. Terahertz frequency modulation continuous wave imaging devices was adopted to collect data, MATLAB-graphical user interface (GUI) was used to develop a set of visualization software platform integrating function such as image processing and 3-D reconstruction. After the analysis of the data, the prototype system was used to detect polymer insulation tiles with the containing of internal metal. The results show that the terahertz NDT visualization system is constructed to observe the internal structure of polymer insulation tile effectively, and then by using the internal image of software platform, after reasonable analysis and algorithm processing, the size and shape of the embedded metal defects are displayed directly on the computer. The accuracy of non-destructive testing is increased, and the difficulty of terahertz nondestructive testing and data analysis duration are decreased.

Key words: laser technique; imaging system; non destructive testing; image processing; MATLAB-graphical user interface

引言

无损检测 (non destructive testing, NDT) 技术利用物质的某些物理性质因存在缺陷或组织结构上的差异而使其物理量发生变化的现象, 在不损伤被检物使用性能、形状及内部结构和形态的前提下, 应用物理方法测量这些变化, 从而达到了解和评价被检测的材料、产品和设备构件的性质、状态、质量或内部结构等目的的技术, 它是一种特殊的检测技术^[1]。目前工业上常使用的有 X 光检测、超声检测、渗透检测和涡流检测等无损

检测手段。太赫兹波或称太赫兹辐射, 是频率处于 0.1THz ~ 10THz 的电磁波, 相对于波长在 0.03mm ~ 3mm 范围, 该波段介于微波和红外之间^[2]。太赫兹波有一些独特的性质, 对于泡沫、陶瓷、磁性材料和高分子复合材料等这些可见光与红外, 甚至超声波都无法穿透的材料, 它具有很好的穿透性。由于美国哥伦比亚航天飞机曾因为隔热瓦胶结结构粘接质量不佳而失事, 采用传统的 X 光、超声波等方法都无法识别具有高分子低密度物理特性隔热瓦的内部缺陷, 但太赫兹无损检测与这些方法相比, 能够更有效地对隔热瓦样件内部可能存在的缺陷、夹杂、脱粘、孔洞、错位、断层和裂缝等清晰成像, 实现无损检测^[3]。太赫兹波无损检测技术具有如下特点: (1) 适用面广, 可于非金属和非极性材料; (2) 速度快, 测量过程迅速; (3) 测量结果产生可视化图像, 直观易懂; (4) 可以直接测量到缺陷大小、厚度, 并能做内部识别; (5) 单项非接触, 检测在

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (11574105; 61475054; 61405063)

作者简介: 周宇 (1993-), 男, 硕士研究生, 主要从事太赫兹无损检测方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: yangzhengang@hust.edu.cn

收稿日期: 2016-06-22; 收到修改稿日期: 2016-07-21

被检样品同侧,且不破坏也不需接触样品;(6)设备可移动,可在 1° 以内倾斜,十分适合工业现场和在线在役检测。

本文中设计了一个太赫兹无损检测可视化系统,系统将使用太赫兹成像装置采集样品的检测信息,然后把得到的数据经过可视化软件平台的分析处理,实现无损检测过程,并通过对含金属的高分子隔热瓦的实验来验证系统的可行性。此研究对太赫兹无损检测技术有效用于航空、航天、电子等领域具有很大的借鉴意义。

1 太赫兹无损检测可视化系统的硬件设计

本课题组所采用的太赫兹无损检测可视化系统的硬件主要由以下部分构成。

(1)太赫兹调频连续波发射与接收探头。该探头是由德国 SynView 公司生产的 SynViewHead 300,其原理与调频连续波雷达测距的机理类似^[4-5],通过压控振荡器(voltage-controlled oscillator, VOC)产生 0.23THz ~ 0.32THz 频率周期性变化的连续太赫兹波,在经过光学系统后聚焦于被检样品的待测面,在被检样品内部不同深度都会有反射的太赫兹回波,该回波信号被探测器接受后与同时产生经模数转换器(analog to digital converter, ADC)转换的发射信号混频,根据光外差探测的原理,由混频器得到的中频信号就可以计算出距离信息^[3,6]。太赫兹回波本身除了频率信息,还包含有反射光强和相位信息,因为不同物质对太赫兹波的反射性质不同,依据反射光强和相位信息就能区分样品内部的不同物质^[7-8]。其原理示意图如图 1 所示。

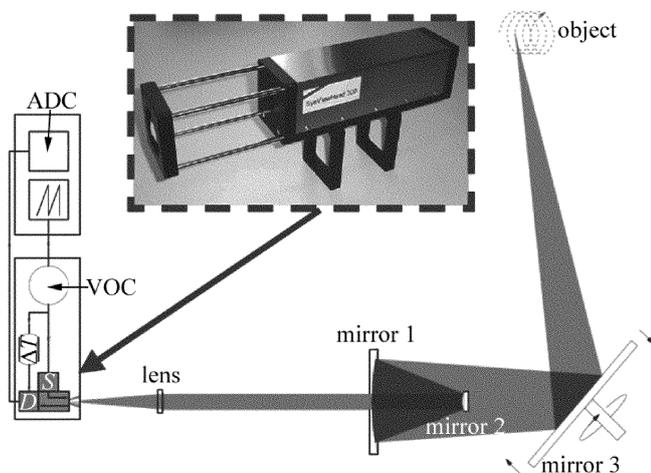


Fig. 1 Working principle of SynViewHead 300

(2)电控位移工作台。由于被检样品一般都具有较大面积,而太赫兹调频连续波的探头只能单点测量,因此,需要含步进电机的电控位移工作台来控制探头实现对被检样品的逐点扫描。通过探头快速的 2 维移动,整个被检样品的 3 维信息都可以迅速获得。

(3)计算机处理系统。将工作台与计算机通过数据线连接,探头采集到的数据以 SynView 采集到的数据(SynView data, SVD)的二进制文件格式输入到设计的可视化软件平台进行分析处理。

2 太赫兹无损检测可视化系统的软件设计

该软件设计是采用 MATLAB-图形用户界面(graphical user interface, GUI)开发的一套太赫兹无损检测可视化的软件平台^[9-10]。用户界面友好易接受、输入命令简单,可以简单、方便、快捷地完成对实验样品的检验。MATLAB 环境同时也提供了基本的科学计算,减少了开发周期,经 MATLAB 编译,可实现开发界面的独立运行。图 2 为软件平台的功能结构图,该软件平台的几大主要功能介绍如下。

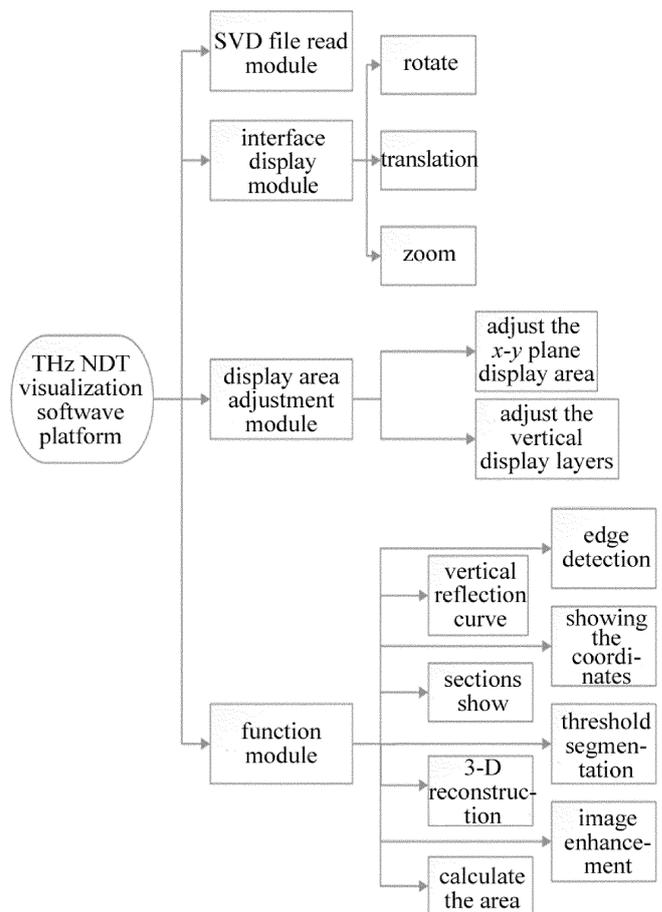


Fig. 2 Function structure of software platform

2.1 SVD 文件读取模块

对 SVD 文件读取模块主要是导入太赫兹无损检测扫描后得到的 SVD 格式数据包,之后用户可以得到实验样品的相关数据,包括各点反射光强、反射相位角以及样品体积大小等信息。

2.2 界面显示模块

利用 MATLAB 的图形绘制功能,将 SVD 文件中的信息显示在屏幕上,其中包括对颜色、光照、纹理和像

素的设置。用户还可以对显示界面中的图像进行交互式操作,包括旋转、平移、缩放。

2.3 显示区域调节模块

SVD格式的文件将扫描区域内所有的空间点都以3维矩阵的形式存储,导致文件数据冗余度较大,不便于提高软件系统的效率,因此用户输入扫描区域内的任意显示范围,系统会自动截取数据并显示该范围内的图像,以提高运行速度。

2.4 功能使用模块

该模块是集成了边缘提取、纵向反射曲线、显示坐标位置、切片显示、阈值分割、3维重建、图像增强、计算区域面积等功能的模块^[11-13],模块中相应按键包含了其功能所对应的算法。

3 基于太赫兹无损检测可视化系统的隔热瓦样件检测方案

3.1 隔热瓦样件的介绍

样件由高分子耐火复合材料和金属圆块组成,示意图如图3所示。将金属圆块放置在白色高分子耐火板内部来模拟内部参杂的隔热瓦,耐火板尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 30\text{mm}$,金属块的厚度为 5mm ,外径为 25mm 。

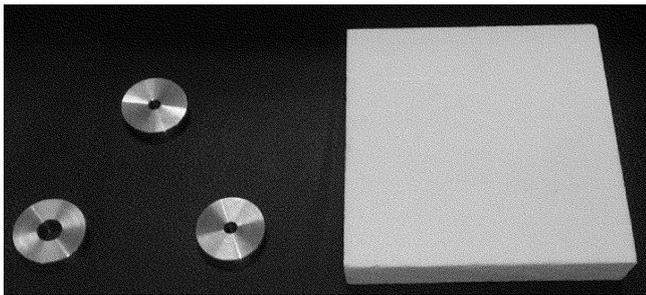


Fig. 3 Metal piece and heat shield

3.2 利用太赫兹调频连续波成像装置进行数据采集

在本实验中,采用设计的太赫兹调频连续波成像装置对该模拟隔热瓦进行检测,得出的实验结果不仅要能探测到高分子耐火板后面的金属圆块,还要能计算出它的具体大小。测试过程如下:将被检隔热瓦水

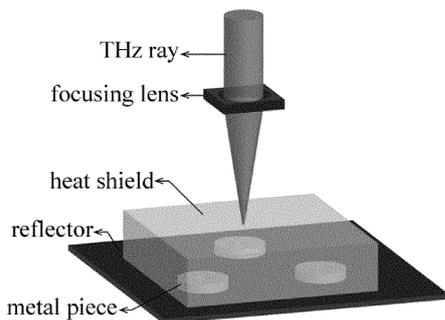


Fig. 4 Schematic diagram of sample test

平放置在工作台的金属反射平台上,隔热瓦的上表面与聚焦透镜间隔等于透镜焦距($f = 50\text{mm}$),太赫兹波从上方垂直于反射平台入射并聚焦到待测面,扫描所得原始数据传输到计算机处理系统中。检测示意图如图4所示。

3.3 利用可视化软件平台进行数据分析

平台的主控制界面^[14-15]如图5所示。在打开SVD文件后,选择合适的显示范围与层数,系统会自动将数据成像到显示窗口,从图中可以初步识别隔热瓦中金属的轮廓,再通过数据游标可以确定感兴趣点的坐标,反射光强大小和颜色信息,形成对隔热瓦检测初步的判断。

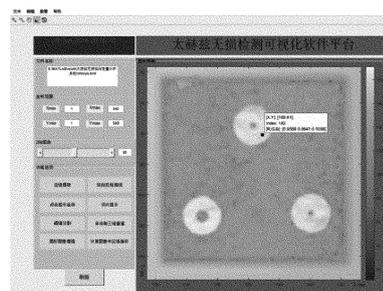


Fig. 5 Visualization software platform

通常单层的图像所包含的信息十分有限,有时需要观察某个像素点整个纵向的波形图。打开如图6所示界面,通过波形图可以了解隔热瓦内部不同层对太赫兹波反射的变化,金属对太赫兹波有较强的反射特性,那么根据波峰所在位置,就可以确定金属缺陷在纵向的层数。

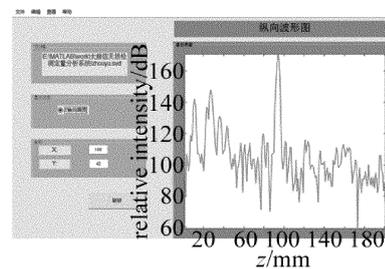


Fig. 6 Display interface of the longitudinal figure

为了更好地检测样品内部的金属缺陷,需要对成像的质量进行提高,以增加无损检测有效性与可靠性。以下分别对数据的图像进行了边缘提取、阈值分割和图形图像增强,如图7所示。

由于对于缺陷的无损检测需要进行定量分析,所以在软件平台中,专门设置了计算缺陷面积的界面,如图8所示。扫描光束是以 1mm 为步进长度,故计算时每个像素点所代表的面积为 1mm^2 。在界面中显示3个缺陷面积分别为 502mm^2 , 502mm^2 , 454mm^2 ,实际金属圆块面积为 471mm^2 , 471mm^2 , 440mm^2 ,在误差范围 $3\% \sim 6\%$ 内,可认为与实际缺陷面积一致。

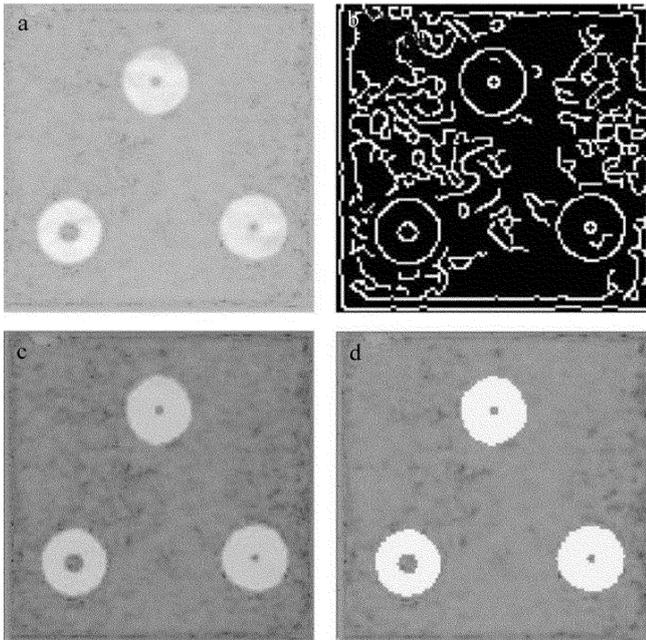


Fig. 7 The original image and the processed image
a—original image b—edge extraction c—threshold segmentation d—image enhancement

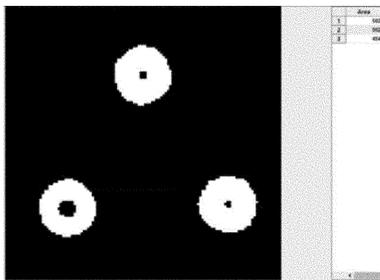


Fig. 8 Interface of defect area calculation

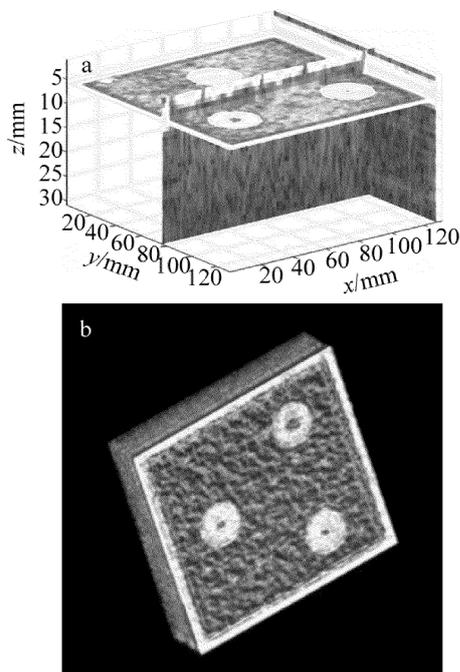


Fig. 9 Sections exhibition and 3-D reconstruction image
a—slice graph display b—3-D reconstruction image

本文中是已知被检样件的信息,但无损检测通常是在无模型的情况下进行,为了对被检样件有全面的了解,系统将对检测所得的数据用算法进行切片显示和3维重构,如图9所示。

通过太赫兹无损检测可视化系统对隔热瓦样件进行了全方面的无损检测,不仅可以定量地得到样件内部详细信息,还可以了解被检样件的外部结构。这些结果与理论结果基本一致,表明了太赫兹无损检测可视化系统的的有效性。

4 结 论

本系统建立在太赫兹无损检测的实际应用背景下。

(1) 根据检测的实际情况,选择了 SynViewHead 300 成像探头,通过与电控位移工作台以及计算机处理系统的相连接,设计改进了太赫兹无损检测的成像系统,使其更适用于工业现场。

(2) 所设计研发的可视化软件平台能较准确地对高分子复合材料的隔热瓦的内部结构进行观察检测,并运用图像处理和3维重构等有效方法进行合理分析,提高实验结果的准确性,大大降低了太赫兹无损检测的难度与数据分析周期。

(3) 由于测量精度不够、软件平台功能不够全面、设备体积庞大等方面的原因,整个系统还有待于继续改进。

参 考 文 献

- [1] XIA J Zh. An introduction to nondestructive testing[M]. Guangzhou:Sunyat-sen University Press,2010:1-2(in Chinese).
- [2] XU J Zh, ZHANG X Ch. Terahertz science technology and application[M]. Beijing:Peking University Press,2007:1-251(in Chinese).
- [3] ZHAO B Q, WEI X L, YANG Zh G, *et al.* Terahertz nondestructive inspection of heat shield[J]. Laser Technology, 2015,39(2):185-189(in Chinese).
- [4] DOBROIU A, YAMASHITA M, OHSHIMA Y N, *et al.* Terahertz imaging system based on a backward-wave oscillaoor [J]. Applied Optics, 2004, 43(30):5637-5646.
- [5] LIU B, LIU J M. A method of the realization of high accuracy in FC-MW ranging system[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2001,15(3):41-45(in Chinese).
- [6] am WEG C, von SPIEGEL W, HENNEBERGER R, *et al.* Fast active THz cameras with ranging capabilities [J]. Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, 2009, 30(12):1281-1296.
- [7] LU T L, YUAN H, ZHANG J Sh, *et al.* Phase detection for continuous terahertz wave[J]. Proceedings of the SPIE,2015,9625:962506.
- [8] LI Q, DING S H, LI Y D, *et al.* Experimental research on resolution improvement in CW THz digital holography [J]. Applied Physics, 2012,B107(103):103-110.
- [9] JIANG Ch Sh. The infrared thermal wave nondestructive testing and THz imaging software platform design [D]. Beijing:Capital Normal University, 2007:1-86(in Chinese).

- [10] JIANG Q H. Infrared thermal wave image segmentation and 3-D visualization of sequence image[D]. Beijing: Capital Normal University, 2007: 1-79 (in Chinese).
- [11] QIAO N Sh, ZOU B J, ZENG L, *et al.* An edge detection method based on image fusion in a noisy image[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2012, 23(11): 2216-2220 (in Chinese).
- [12] ZHOU Y, TANG Z Sh. A coherent subvolume projection approach for volume rendering[J]. Chinese Journal of Computers, 1994, 17(11): 823-830 (in Chinese).
- [13] XU X Y. Characteristic analysis of Otsu threshold and its applications [J]. Pattern Recognition Letters, 2011, 46(3): 956-961.
- [14] LI L, GONG M L, LIU X Zh, *et al.* A software for laser beam analysis[J]. Laser Technology, 2000, 24(6): 405-408 (in Chinese).
- [15] HE X, ZHANG B, ZHOU K. Automatic acquiring and analyzing system of laser spot based on virtual instruments[J]. Laser Technology, 2012, 36(2): 238-242 (in Chinese).