

激光超声技术在航空复合材料无损检测中的应用

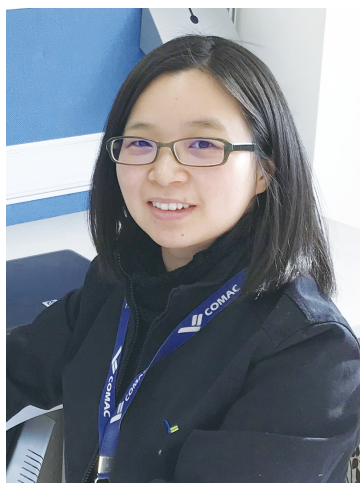
胡婷萍, 高丽敏, 杨海楠

(中国商飞北京民用飞机技术研究中心民用飞机结构与复合材料北京市重点实验室, 北京 102211)

[摘要] 随着复合材料在航空上的广泛应用,激光超声检测技术作为一种新兴无损检测手段,在复合材料检测方面的优势逐渐凸显。对激光超声检测技术原理和应用特点进行了分析,提出了民机复合材料对激光超声检测技术的应用需求,介绍了激光超声检测技术在层压板结构、复杂形状复合材料、蜂窝结构、热塑性复合材料、复合材料孔隙率检测的应用进展,还简要分析了激光超声技术的成本和经济效益。最后评述了现有技术存在的问题及发展趋势,为激光超声检测技术在飞机复合材料检测领域的研究与应用提供一定的参考和借鉴。

关键词: 航空; 无损检测; 激光超声; 复合材料; 损伤

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2018.19.050



胡婷萍

硕士、工程师,主要从事航空结构的无损检测技术研究,针对航空复合材料的超声检测进行了广泛研究。

由于具有比模量和比强度高、抗疲劳和耐腐蚀等优点,先进复合材料成为新一代民用飞机的主要结构材料,如波音 787 的复合材料达到结构重量的 50%,空客 A350 达到 52%,国产大飞机 C919 的复合材料用量达 12%^[1-2]。在大型商用飞机复合材料部件的制造和服役过程中,必须通过无损检测来鉴别产品的内部质量^[3]。激光超声检测技术作为一种新兴无损检测手段,在复合材料检测方面有着独特的优势,特别是对结构复杂的大型复合材料构件。

航空业从 20 世纪 90 年代就开始研究用激光超声技术对复合结构进行检测。然而直到 21 世纪初,洛克希德·马丁公司研制成功 LaserUT 激光超声检测系统,激光超声技术才被证明具有真正的工业应用能力^[4]。本文将从商用飞机的角度,分析飞机复合材料的激光超声检测技术应用

需求,并概述激光超声检测技术的应用进展。

激光超声检测技术原理及应用特点

激光超声检测的原理是利用激光脉冲辐照材料表面,因热弹性效应产生应力脉冲,应力脉冲同时以纵波、横波和表面波等形式的超声波向试样内部或沿表面传播,通过超声波的反射、散射或衰减表征缺陷,进行材料和结构检测^[5-6]。

根据超声波传导形式不同,该技术可分为纵波与 Lamb 波两种形式^[7]。超声波接收方式通常为激光接收和传感器接收两种方式,目前国际上广泛应用的激光超声检测技术是利用激光来激发和接收超声波进而检测材料及结构中缺陷的一种新型超声检测技术,技术原理如图 1 所示。

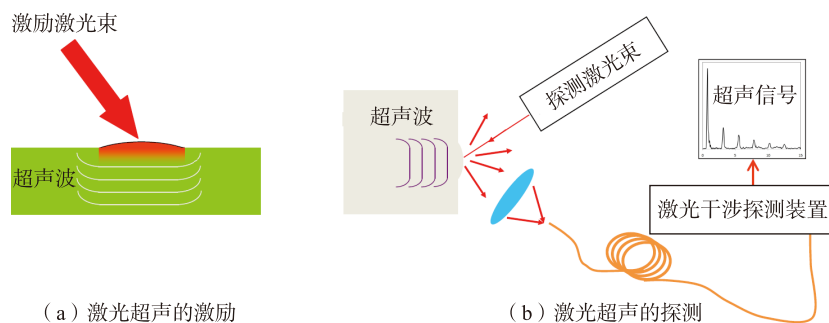


图1 非接触激光超声检测技术原理

Fig.1 Principle of non-contact laser ultrasonic testing technology

随入射激光的功率密度和固体表面条件的不同而改变,分为热弹性效应和烧蚀效应两种。对于表面干净的、无约束的固体来说,如果入射激光的功率密度较低,激光能量不足以使固体熔化,则在产生过程中,热弹机制将起主要作用^[8]。在激光功率密度较高的情况下,温度上升将使固体局部融化,以至出现烧蚀。通过改善和调节激光器,可以避免烧蚀现象。

与目前广泛应用的超声检测技术相比,激光超声检测技术在飞机材料及结构检测中具有显著的特点和优势:(1)非接触检测。利用激光脉冲激发超声波并采用光学方法对超声波进行非接触式的探测;(2)高精度检测。激光超声检测技术对激光束进行光学聚焦可以得到尺寸很小的光斑进而达到很高的空间分辨率;(3)复杂型面检测。激光束可以在较大距离、角度范围内倾斜入射到复杂型面结构表面进行超声波的激发和探测而不影响检测结果的正确性^[9];(4)原位检测。将激光超声检测技术与机器人技术和偏转反射镜扫描技术结合起来,可实现大范围的扫描,应用于飞机服役期大型复杂结构的快速原位检测。综上所述,激光超声检测技术具有非接触、高精度、高效率的特点以及复杂型面检测和原位检测能力,在飞机制造与服役全生命周期结构检测方面具有广阔的应用前景。

激光超声检测技术在复合材料结构中的应用

1 复合材料结构无损检测的应用需求

飞机大型复合材料结构较为复杂,如复合材料机身和机翼的壁板结构,包含蒙皮和长桁,蒙皮为变厚度且存在一定曲面,需检测分层、脱粘和孔隙等缺陷,通常要求检出 $\phi 6\text{mm}$ 分层和脱黏,以及1%以上孔隙率。对于大型复合材料结构在制造阶段的无损检测,常采用超声脉冲和穿透C扫检测技术,该技术对于平板类结构检测效率高,但对于复杂结构检测效率低,某些部位存在不可达。对于大型复合材料结构在服役阶段的无损检测,常采用超声A扫和敲击检测技术,该技术检测效率低,且受操作人员经验要求较高。具有适应复杂型面和高效率特点的激光超声检测技术,在飞机大型复合材料的无损检测方面具有广阔应用前景,同时激发纵波且为激光接收的激光超声检测技术更适用于飞机大型复合材料结构无损检测的工程应用。

2 激光超声检测技术的应用进展

对于激光激发且激光接收的激光超声检测技术,被应用于层压板结构、蜂窝结构、复杂形状复合材料、热塑性复合材料、复合材料孔隙率检测。洛克希德·马丁公司和空客公司(包括已与空客公司合并的EADS集团)在激光超声检测方面进行了较多的研究和应用,同时不少研究机构

和大学也进行了许多新颖的探索。

2.1 层压板复合材料结构的检测验证

西北工业大学、北京航空航天大学和中国飞机强度研究所使用激光超声检测系统,分别采用穿透法和脉冲反射法对含预置缺陷的复合材料层压板进行验证性检测,可检出 $\phi 2\text{mm}$ 的预置平底孔缺陷,如图2所示。同时与传统超声检测技术对比,激光超声检测系统可达到和传统超声检测系统一致的检出率^[10]。

南京航空航天大学采用脉冲激光激励复合材料中的Lamb波,通过波数-频率域分析方法和阈值滤波等信号处理方法提取Lamb波传播特征参数,检测复合材料层压板结构的冲击损伤,并通过波场能量分布对损伤进行成像,图3为不同时刻Lamb波场,当经过冲击损伤后波场产生了异常区域,可据此判断损伤出现的大致位置^[11]。

另外,中国航空制造技术研究院采用激光激励纵波、超声接收的方法,研究了复合材料层压板中典型缺陷的激光超声信号特征和缺陷识别评估方法,根据波幅和衰减规律可进行缺陷的判别^[12]。南昌航空大学搭建了基于双波混合干涉的激光超声检测系统,对信号接收处理和表面波传播进行了初步研究^[13]。中国航发北京航空材料研究院采用激光接收的方法,搭建超声声场可视化平台,研究了声场随时间和试样厚度等的变化规律^[14]。中国商飞搭建了激光激励、激光接收的激光超声检测系统,并开展了在复合材料结构的检测应用验证。

2.2 复杂形状复合材料结构的检测应用

洛克希德·马丁制造了3套LaserUT系统,检测场深度很大,允许探头与试件的间隔距离达到1.5~2.5m之间。在超声检测过程中,只有2D扫描器的小反射镜移动,通过反射镜的移动可以扫描的最大区

域为 $1.3\text{m} \times 1.3\text{m}$ 。LaserUT 系统特别适合复杂形状构件的检测,目前的 LaserUT 系统最快检测速度可以达到 400点/s ^[15]。目前已有激光器的脉冲速率可达到 1000Hz ,或相当于 $14\text{m}^2/\text{h}$ 的扫描覆盖率。LaserUT 被用于检测含有缺陷的 44mm 厚的碳纤维复合材料板, LaserUT 清晰探测到了底面反射,并能进行精确的分析。

空客定期升级改进激光超声检测系统以满足更高的需求,如增加光折射干涉仪对双曲面复合材料结构进行检测和对蜂窝结构进行检测,双曲结构的厚度从 1.6mm 渐变至 15mm ,增加测距仪对复杂结构进行三维模型重构,从而可以将检测结果进行三维显示^[16]。

为了满足新型号项目的需要,空客 2011 年购置了美国 iPhoton 公司的 iPLUS III 型激光超声检测系统,用于检测 A380、A350 等新型客机的复合材料构件,如图 4 所示^[17]。

韩国全北国立大学根据激光激励 Lamb 波,对复合材料机翼结构进行检测,如图 5 所示,通过对 Lamb 波信号进行过滤处理,实现了结构冲击损伤的定位^[18]。

比利时列日大学将激光超声检测技术与机器人相结合,应用于大曲率复杂型面复合材料结构的缺陷/损伤检测,如图 6 所示^[19]。

北京航空航天大学超声无损检测研究室针对碳纤维复合材料层压结构紧固孔分层的高精度定位、定量检测问题,利用激光干涉测量技术的高分辨率特点在紧固孔边沿测得分层缺陷导致激光超声信号的反射和衰减,研究结果可以初步验证激光超声技术用于紧固孔分层检测的可行性^[20]。

除了飞机制造阶段,激光超声检测技术还可应用于飞机维修阶段。加拿大国家材料研究所采用激光超声检测技术检测维修阶段的飞机构

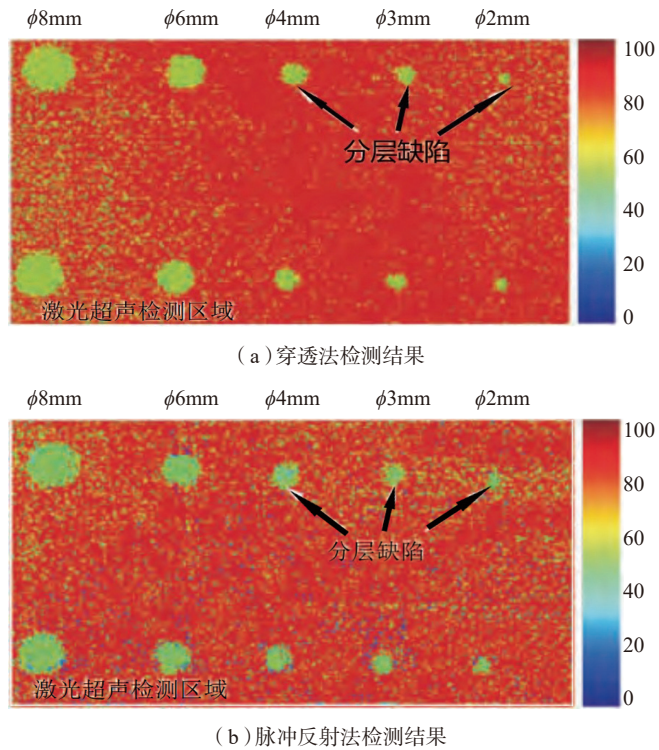


图2 复合材料层压板激光超声检测结果
Fig 2 Result of composite by laser ultrasound testing

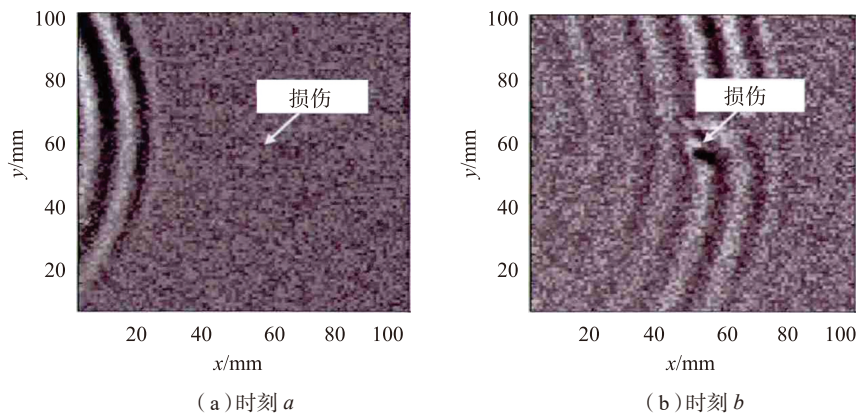


图3 复合材料层压板中Lamb波的传播
Fig.3 Lamb wave propagation in CFRP plate



图4 大型复杂复合材料构件的激光超声检测
Fig.4 Laser ultrasonic NDT for composite component

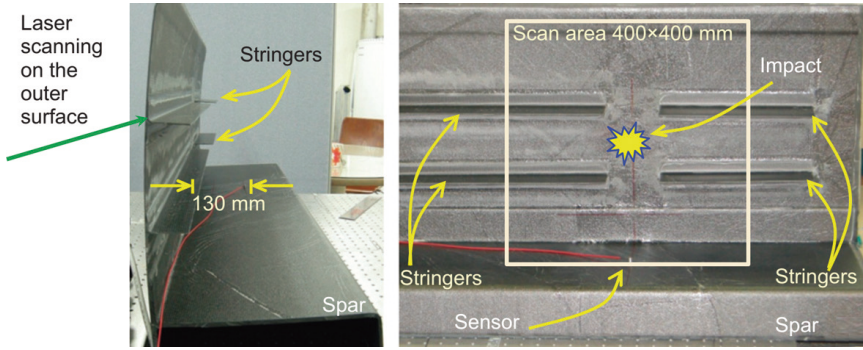


图5 复材机翼冲击损伤的激光超声检测
Fig.5 Laser ultrasound testing for impact in composite wing

件,激发装置为TEA CO₂激光器,探测装置为YAG脉冲激光,检测设备与构件的距离为1.4m^[21]。

2.3 蜂窝结构复合材料件的检测应用
EADS(现为空客集团)创新工场从1994年开始就应用激光超声检测技术,持续不停地测试分析激光超声技术的优缺点。EADS利用LUISS系统对双层蜂窝结构的缺陷进行检测^[22],蜂窝结构为14mm厚,缺陷的尺寸为25mm和50mm,从图7的检

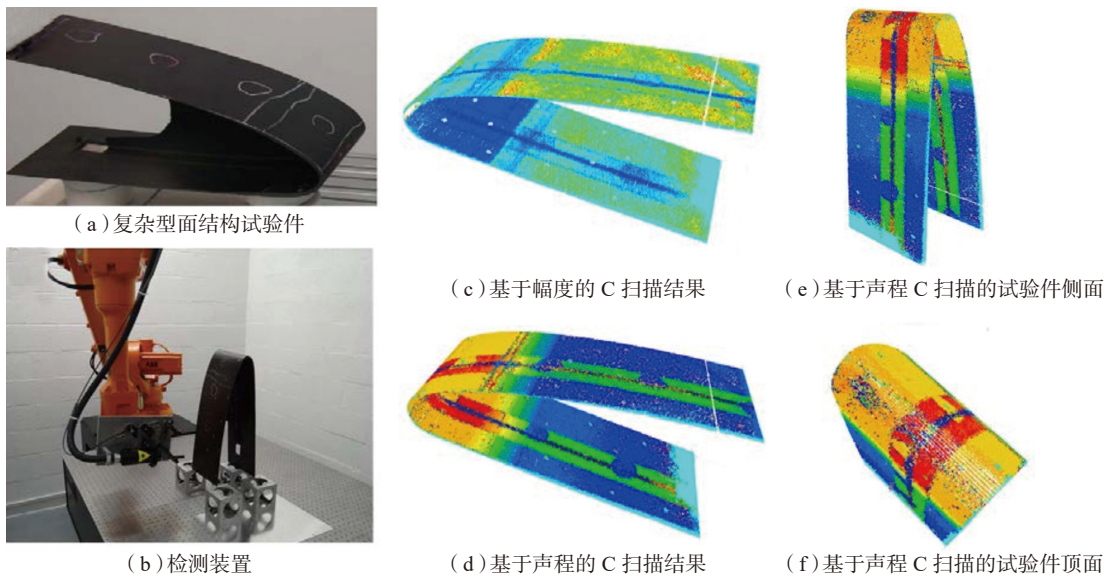


图6 复杂型面复合材料结构的激光超声检测
Fig.6 Inspection of complex shaped composite structure

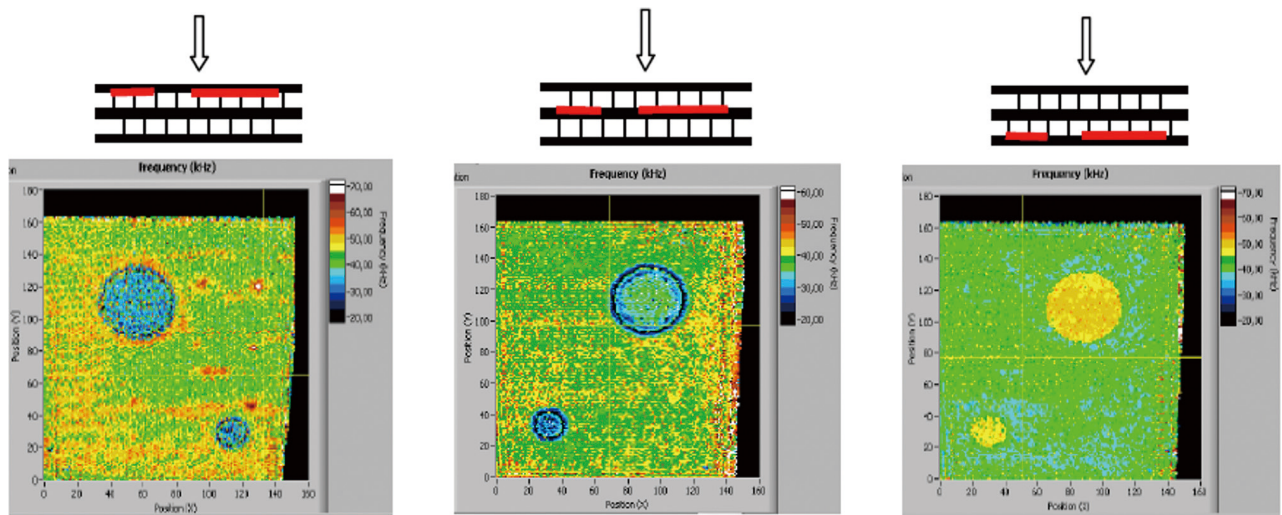


图7 蜂窝结构的激光超声C扫描检测结果
Fig.7 Laser ultrasonic C-scan results of honeycomb structure

测结果看出,位于上中下3层的缺陷均可检测出来,检出了位于蜂窝结构不同深度的脱黏损伤,这显示出激光超声技术的优越检测能力。LUIS系统^[23]对于很薄的构件来讲是一个非常高效的检测工具。

北卡罗莱纳州立大学利用全自动激光超声检测系统,激励 Lamb 波用于检测复合材料蜂窝结构的冲击损伤,与射线 CT 检测结果对比,如图 8 所示,冲击损伤产生的大分层的位置与尺寸相同^[24]。

2.4 热塑性复合材料件的检测应用

德国不莱梅光纤应用技术研究所以激光超声技术检测热塑性复合材料的缺陷^[25]。利用激光超声技术检测热塑性复合材料结构具有诸多优点,如可检测大曲率结构、支持远距离检测、可在热成型过程中对关键区域进行检测等。近年来纤维增强热塑性复合材料 Cetex 被用来制造 A380 机翼上 52m 长的固定前缘和其他复杂几何形状部件。不莱梅光纤应用技术研究所以激光超声技术对用 Cetex C/PPS 材料制造的含有脱层缺陷、孔洞(图 9)的结构件进行了检测。试验表明,激光超声技术最小可检测出直径 2mm 的脱层缺陷和直径 6mm 的孔洞缺陷。该研究表明了用激光超声检测热塑性复合材料缺陷是可行的,并且可以在工业生产环境中正常工作。

2.5 复合材料件孔隙率的检测应用

莫斯科大学的研究人员利用激光超声研究了碳纤维复合材料孔隙率的检测评估方法。研究人员设计了一套系统,用激光脉冲激励超声纵波,用高灵敏传感器接收超声纵波^[26]。该方法不需检测结构背侧散射的信号。他们利用 3 组具有不同基体比例和孔隙率的试件进行了测试,获得了功率谱(结构噪音功率)与孔隙率之间的关系曲线(见图 10,其中 M 为树脂基体体积比),利用这个曲线即可通

过激光超声对功率谱的测量获得被测结构的孔隙率。

成本及经济效益分析

在技术上,激光超声具有非接触、可检测复杂形状结构、检测精度高、频带范围宽等优点。然而在工业应用中,还有一项重要的评价标准就是成本。激光超声检测的一次性成本支出包括:系统本身(超声系统+机械系统+计算机)、建设费用、培训费用等;经常性成本包括:人力成本(如准备工作及检测和分析工作)、维护成本(如人力和配件)、供给成本(如水、电、气)。

目前,虽然传统多通道超声系统的扫描速度比激光超声系统快,但

是准备时间(刮掉涂层、定位和仿形)较长,而激光超声检测不需要精确地装卡定位,准备工作可以在几分钟之内完成。如果考虑到相对较平的板件,激光超声系统并不占优势。然而,一旦需要大量的手工操作,例如带加强筋的宽体客机壁板或机翼的复杂结构,激光超声系统就非常具有竞争力了,既省时又省钱。在洛克希德·马丁航空公司,仅仅在 F-22 和 F-35 项目中,应用激光超声技术就将比传统超声技术节省数亿美元的资金和人力成本。在 2000 年 6 月到 2006 年 5 月 1 日之间,洛克希德·马丁公司用 LaserUT 系统检测了超过 13000 个部件(见图 11)。在复合材料生产量几乎翻了 10 倍的同时,从

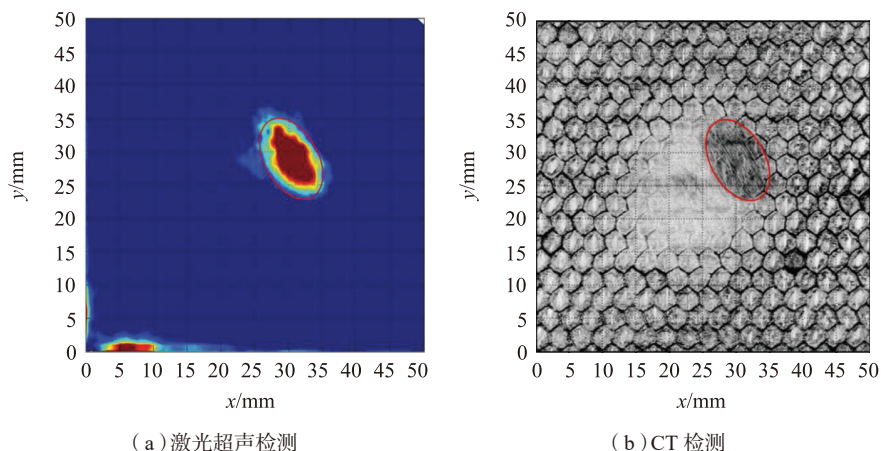


图8 蜂窝结构的激光超声检测与CT检测结果
Fig.8 Detection results of laser ultrasonic and CT for honeycomb structure

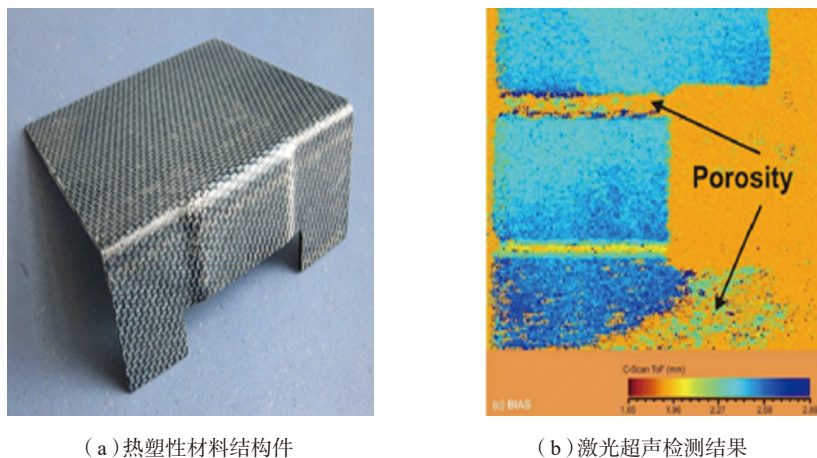


图9 激光超声技术检测Cetex C/PPS材料构件
Fig.9 Laser ultrasonic NDT for Cetex C/PPS components

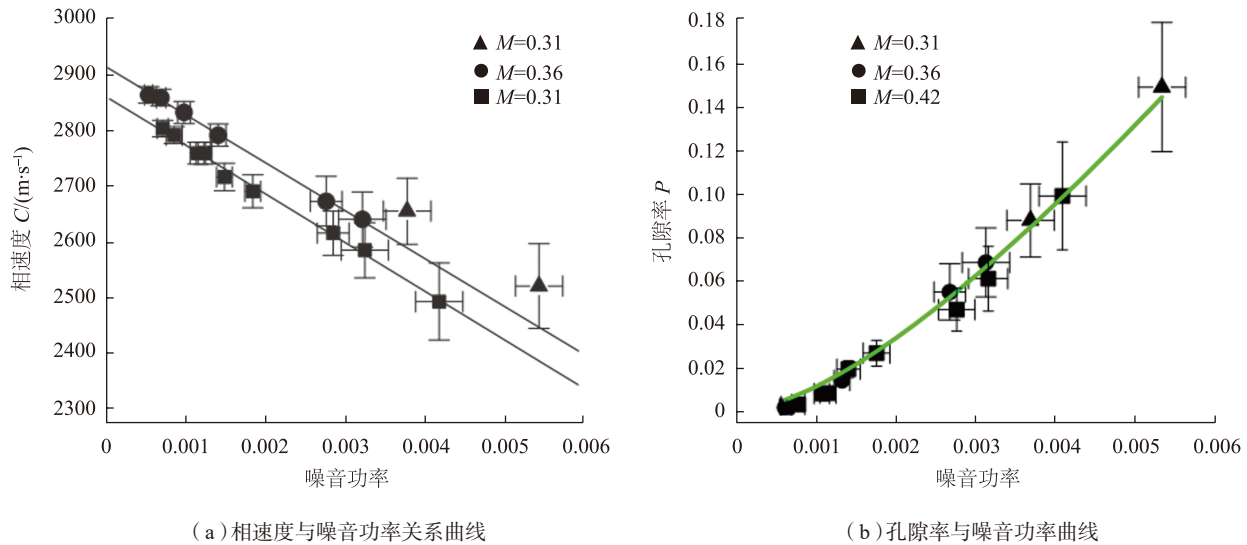


图10 激光超声检测孔隙率

Fig.10 Laser ultrasonic NDT for porosity

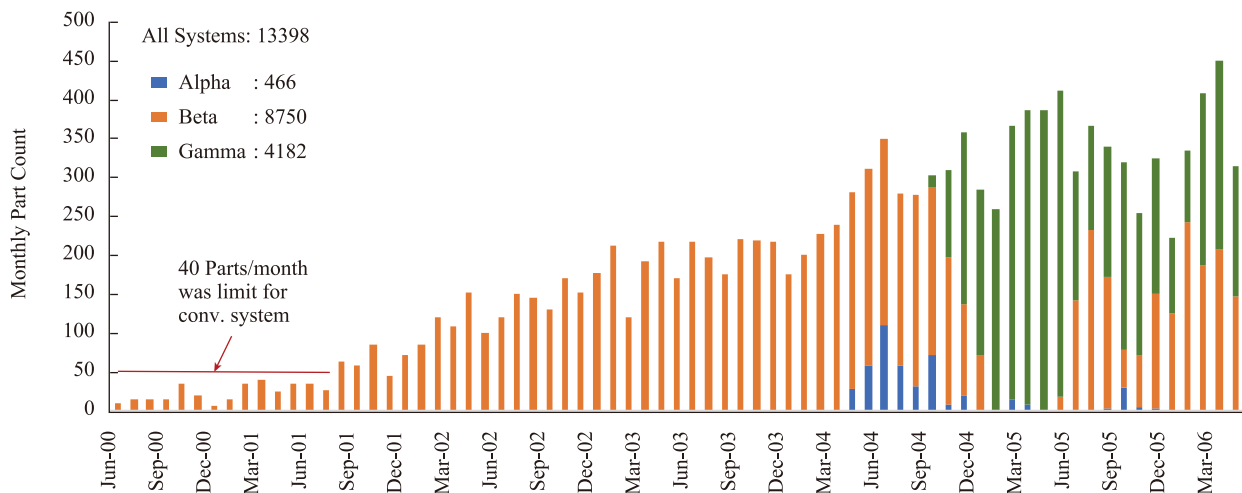


图11 洛马公司激光超声检测的复合材料部件统计

Fig.11 Statistics of composite components for laser ultrasonic testing of Lockheed Martin

事复合材料 NDT 的人员数量并没有改变。而且 LaserUT 激光超声系统目前已具有非常高的可靠性和稳定性,一整年的使用中只需要 2~3 天的维护时间^[27]。

对于商用飞机的制造,部件多数是很大并且相对平滑的,因此传统的多通道超声技术更加适用。然而,对于相对大型的复杂部件,就需要分析整个检测周期所用的时间。如果考虑到对于不同部件的操作灵活性和较短的定位和准备时间,激光超声系

统就显示出了真正的经济性。

结论

激光超声作为一项新检测技术,虽然在复合材料检测上具备一些现有技术所没有的优势,但现阶段还存在一些关键问题。首先是成本问题,复合材料激光检测系统相比常规超声检测系统,价格高出许多。其次是检测速度,检测复杂形状复合材料部件具有速度优势,但对平板复合材料部件的检测与常规

超声检测技术相比没有优势。

激光超声检测技术不断发展,激光超声检测技术正向着自动化、智能化、小型化等方向发展:

(1) 自动化及智能化。激光超声检测技术已与自动化控制系统及机器人技术结合应用,可迅速扫描构件区域,并对疑似缺陷区域进行重点精确扫描,大大缩短检测时间。结合现代网络化管理与智能控制系统实现构件的快速、智能化、自动化检测是激光超声无损检测技术发展的一

大趋势。

(2) 集成化及小型化。为了适应飞机服役阶段的检测现场,未来的激光超声检测设备的各组件将集成化并小型化,将和现在的常规超声仪一样是便携式的,甚至可以手持在试件表面移动。

参 考 文 献

[1] 刘善国. 国外飞机先进复合材料技术[J]. 航空制造技术, 2014, 57(19): 26-31.

LIU Shanguo. Advanced composite technology of foreign aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014, 57(19): 26-31.

[2] 杨乃宾. 新一代大型客机复合材料结构[J]. 航空学报, 2008, 29(3): 596-598.

YANG Naibin. Composite structures for new generation large commercial jet[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2008, 29(3): 596-598.

[3] 宁宁, 袁慎芳, 沈真, 等. 在役航空复合材料结构的无损检测技术[J]. 航空制造技术, 2008, 51(15): 50-52.

NING Ning, YUAN Shenfang, SHEN Zhen, et al. Nondestructive testing technology for aviation composite component[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008, 51(15): 50-52.

[4] OSTERKAMP M A, KAISER D L. Application of laser ultrasonic for the nondestructive inspection of complex composite aerospace structures[C]//Montreal: 1st international symposium on laser ultrasonic: Science, Technology and Applications, 2008.

[5] 施德恒, 陈玉科, 孙金锋, 等. 激光超声技术及其在无损检测中的应用概况[J]. 激光, 2004, 25(5): 1-4.

SHI Deheng, CHEN Yuke, SUN Jinfeng, et al. A review on laser ultrasonic technique and its applications in non-destructive testing[J]. Laser, 2004, 25(5): 1-4.

[6] FENG G R, HUANG G B, LIN Q P, et al. Error minimized extreme learning machine with growth of hidden nodes and incremental learning[J]. Neural Networks, IEEE Transactions on, 2009, 20(8): 1352-1357.

[7] 季宏丽, 张超, 裘进浩. 激光超声技术在复合材料检测中的应用[J]. 航空制造

技术, 2017, 60(15): 16-22.

JI Hongli, ZHANG Chao, QIU Jinhao. Applications of laser ultrasonic technology on composite structure testing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2017, 60(15): 16-22.

[8] 曾伟, 杨先明, 王海涛, 等. 激光超声技术及其应用[J]. 无损检测, 2013, 35(12): 49-52.

ZENG Wei, YANG Xianming, WANG Haitao, et al. Laser ultrasonic technology and its applications[J]. Non-destructive Testing, 2013, 35(12): 49-52.

[9] 马保全, 周正干. 航空航天复合材料结构非接触无损检测技术的进展及发展趋势[J]. 航空学报, 2014, 35(7): 1787-1803.

MA Baoqun, ZHOU Zhenggan. Progress and development trends of composite structure evaluation using noncontact nondestructive testing techniques in aviation and aerospace industries[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2014, 35(7): 1787-1803.

[10] 郭佳, 李四海, 宁宁, 等. 激光超声技术在无损检测中的应用[J]. 航空工程进展, 2014, 5(4): 487-490.

GUO Jia, LI Sihai, NING Ning, et al. Application of laser ultrasonic technique in non-destructive testing[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2014, 5(4): 487-490.

[11] ZHANG C, QIU J, JI H. Laser ultrasonic imaging for impact damage visualization in composite structure[C]//Proceedings of 7th European Workshop on Structural Health Monitoring, 2014.

[12] 刘松平, 郭恩明, 刘菲菲, 等. 激光超声检测碳纤维增强树脂基复合材料的缺陷评估技术研究[J]. 无损检测, 2007, 29(7): 396-401.

LIU Songping, GUO Enming, LIU Feifei, et al. Evaluation of defects in carbon fiber-reinforced composites by laser ultrasonic technique[J]. Nondestructive Testing, 2007, 29(7): 396-401.

[13] 刘伟. 基于双波混合干涉的激光超声检测系统的研究与应用[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2010.

LIU Wei. The study and application of the laser-ultrasonic testing system based on twowave mixing interferometer[D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2010.

[14] 郭佩文, 史亦韦, 卢超, 等. 超声

换能器声场的激光可视化研究[J]. 计测技术, 2018, 38(2): 13-17.

GUO Peiwen, SHI Yiwei, LU Chao, et al. Study on laser visualization of sound field of ultrasonic transducer[J]. Metrology & Measurement Technology, 2018, 38(2): 13-17.

[15] VOILLAUME H, SIMONET D, EADS C, et al. Analysis of commercial aeronautics applications of laser ultrasonic for composite manufacturing[C]//9th European Conference on Non Destructive Testing, Berlin, 2006.

[16] CAMPAGNE B, VOILLAUME H. Development of laser ultrasonic: Application to complex shape aeronautical parts[C]//Laser Ultrasonic, Canada, 2008.

[17] FIEDLER C J, DUCHARME T, KWAN J. The laser-ultrasonic inspection system (LUIS) at the sacramento air logistics center[J]. Springer US, 1997, 16(2): 515-522.

[18] CHEN C, LEE J, PARK C, et al. Laser ultrasonic anomalous wave propagation imaging method with adjacent wave subtraction: application to actual damages in composite wing[J]. Optics & Laser Technology, 2012, 44(2): 428-440.

[19] VANDERIJIT J F, LANGUY F, THIZY C, et al. Nondestructive inspection of aerospace composites by a fiber coupled laser ultrasonics system[C]//International Conference on Optical and Photonics Engineering. International Society for Optics and Photonics, Xi'an, 2017.

[20] 周正干, 孙广开, 马保全, 等. 先进复合材料超声无损检测新技术的应用[J]. 科技导报, 2014, 32(9): 15-20.

ZHOU Zhenggan, SUN Guangkai, MA Baoquan, et al. Application of new developed techniques for ultrasonic nondestructive testing for advanced composite materials[J]. Science & Technology Review, 2014, 32(9): 15-20.

[21] CHOQUET M, HEON R, PADIOLEAU C, et al. Laser ultrasonic inspection of the composite structure of an aircraft in a maintenance hangar[J]. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, 1995 (14): 545-552.

[22] PÉTILLON O, DUPUIS J P, DAVID D, et al. Laser ultrasonic: a noncontact NDT system[J]. Review of Progress in QNDE, 1995, 14(4): 1189-1195.

- [23] BENOIT M, CHRISTOPHE B, CHRISTIAN N, et al. Robotic laser ultrasonic imaging of composite complex geometry components[C]// 62nd CASI aeronautics conference and AGM 3rd garden conference, Montreal, 2015.
- [24] GIROLAMO D, GIROLAMO L, YUAN F G. Automated laser-based barely visible impact damage detection in honeycomb sandwich composite structures[J]. Qnde, 2015, 1650(1): 1392-1400.
- [25] KALMS M, PETERS C, WIERBOS R. Assessment of carbon fiber-reinforced polyphenylene sulfide by means of laser ultrasound[C]// 2011/2012 Scholarship Program in Optical Science and Engineering, Shanghai, 2011.
- [26] KARABUTOV A A, PODYMOVA N B. Nondestructive porosity assessment of CFRP composites with spectral analysis of backscattered laser-induced ultrasonic pulses[J]. Journal of Non-destructive Evaluation, 2013 (23): 315-324.
- [27] 张昭, 肖迎春, 李闵行, 等. 激光超声技术在航空碳纤维复合材料无损检测中的应用[J]. 航空工程进展, 2014, 5(3): 269-274.
- ZHANG Zhao, XIAO Yingchun, LI Minhang, et al. Applications of laser ultrasonic nondestructive testing technology in aeronautical carbon fiber composite[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2014, 5(3): 269-274.
- 通讯作者: 胡婷萍, E-mail: hutingping@comac.cc.

Application of Laser Ultrasonic Nondestructive Testing Technology in Aeronautical Composite Structures

HU Tingping, GAO Limin, YANG Hainan

(Beijing Key Laboratory of Civil Aircraft Structures and Composite Materials, Beijing Aeronautical Science & Technology Research Institute of COMAC, Beijing 102211, China)

[ABSTRACT] With composite materials more and more widely used in the aerospace industry, the laser ultrasonic technique has been considered as an emerging advanced nondestructive testing technique. The principle and advantages of the laser ultrasonic technique have been analyzed, and the current development of the application of the technique in the areas of nondestructive testing of Laminate structure, complex composite structure, honeycomb sandwich structure, thermoplastic composites, and the evaluation of porosity has been discussed. A brief cost analysis of this technique has also been given in this paper. Finally, the existing problems and the future development trend of the application of the nondestructive testing technique in composite structures have been described. It has certain reference for the research and application of laser ultrasonic on the composite structure.

Keywords: Aerospace; NDT (nondestructive testing technique); Laser ultrasonic test; Composite; Damage

(责编 铃兰)

(上接第49页)

Design and Experimental Study of Automated Eddy Current Testing System for Turbine Blade Crack

SONG Kai¹, WANG Chong¹, ZHANG Lipan¹, WANG Chan², LI Yiming¹, ZHAO Zhizhong¹

(1. Key Laboratory of Nondestructive Testing, Ministry of Education, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China; 2. Xi'an Aero Power Co., Ltd., Xi'an 710021, China)

[ABSTRACT] Based on the fast detection problem of aero-engine turbine Blades, a new differential eddy current sensor is developed with mechanical self-compensation, the research of automated eddy current testing experiment on turbine blade of aero-engine is developed with the five axis linkage contour automatic detection system. The results show that using the eddy current sensor with the automatic detection system is able to eliminate the lift-off signal, reduce jitter interference, and effectively improve the signal-to-noise ratio compared with manual detection. This method is expected to be applied to the metal with complex curved surface like turbine blade.

Keywords: Turbine blade; Eddy current testing; Crack; Automatic detection; Profile scanning

(责编 铃兰)