

航空复合材料无损检测技术发展分析

李英杰 邹铁才

哈尔滨飞机工业集团有限责任公司 吉林 松原 150066; 哈尔滨通用飞机工业有限责任公司 吉林 松原 150066

摘要:近年来国内外陆续刊出了多篇关于复合材料 NDT&E 技术的学术专著,涉及新的复合材料成型工艺、新的航空复合材料、新的复合材料结构等多个方面,这意味复合材料 NDT&E 技术已经提升到更高的技术水准,并且同步推出了复合材料 NDT&E 的新仪器、新方法,从而为推广和应用复合材料 NDT&E 技术提供了保障。本文对航空复合材料无损检测技术发展进行分析。

关键词:无损检测;复合材料;缺陷评估;超声检测

引言:由于复合材料构件的成型过程相对复杂,其中不仅包括化学反应,同时还有物理变化,各种因素还会对材料的成型造成很大影响。诸多工艺参数若出现任何差异都会导致材料构件的成型出现问题,使得构件的质量和力学性能受到影响。复合材料结构制造质量的离散型需要通过无损检测对产品的内部质量进行鉴定,从而确保产品质量满足设计的基本要求。

一、复合材料 NDT&E 技术相关研究

1. 超声检测技术的研究

其一,声波时域行为的探究和利用,深入探究超声波在复合材料中产生的不同声波信号的时域特性,通过分析穿透信号或超声回波的传播时间、幅值、衰减等时域特征,来支撑针对复合材料的超声检测功能;

其二,声波频域特性的研究与应用,分析超声波在复合材料中形成的声波信号的频域特性,据此表征及评估复合材料存在的缺陷。主要分为:以单声源为基础的超声检测技术、以阵列声源为基础的超声检测技术、激光超声检测方法以及超声导波检测方法^[1]。

2. X 射线检测技术的研究与进展

当前,复合材料 X 射线检测技术应用较为广泛,包括蜂窝芯的检测、微结构的表征、特殊复合材料结构部位的缺陷表征及评估。Dietrich 利用 μ -CT 方法开展了蜂窝夹芯微观和介观结构的 3D 层析试验,证实了 μ -CT 方法能够准确表征蜂窝芯的微观、介观结构和冲击变形,配合 3D 图像分析技术,还能够表征面板纤维的取向以及蜂窝芯的几何形变。目前, μ -CT 方法常用于小试样的微结构表征、变形分析以及微缺陷评估等。

3. 红外热像检测方法的研究

近年来,针对红外检测技术的研究聚焦于脉冲红外热像方法,即通过试样检测的方法探究脉冲红外热像方法对于较大尺寸的人工缺陷、损伤的检测效果。目前,红外热像检测方法在复合材料制造阶段的适用性不佳,尚未实现应用普及^[2]。

4. ESPI 检测方法的研究

创建 ESPI 检测技术的最初目的就是实现对复合材料或者特别情景的损伤进行检测,国外对此项检测技术的研究进展较快。比如,Choi 利用激光源 Nd 组织了 RDPI 检测试验,即利用 ESPI 检测技术对复合材料蜂窝结构中由冲击造成的分层现象进行检测试验。

二、复合材料 NDT&E 技术应用

1. 复合材料 NDT&E 技术的应用方向

当前,通过对复合材料 NDT&E 技术的探究我们可以总结出其主要应用于如下:(1)探究 NDT&E 新机制;(2)探究 NDT&E 新技术;(3)NDT&E 的利用和研究,包括新工艺准则的设置、新装备的研制等。基于此,复合材料 NDT&E 技术正朝向以下四个应用方向进展,具体来说:

(1)面向复合材料研发过程中的 NDT&E。紧随复合材料的研发步调,基于 NDT&E 技术、方法对复合材料的内部缺陷进行表征及评估,以及利用超声 NDT&E 检测方法揭示复合材料的微结构及弹性性能,逐步建立起面向复合材料研发过程的 NDT&E 方法体系,并且为复合材料缺陷评估提供基础判据。

(2)面向复合材料结构制造过程中的 NDT&E。选用适当的 NDT&E 技术,在复合材料的加工制造过程中,对复合材料结构进行无损检测和评估,并未复合材料的工艺改进和质量控制提供依据。面向复合材料结构制造过程中的 NDT&E 通常选用技术成熟的检测方法,而且必须在制造现场或原位来施行^[3]。

2. 超声检测技术的应用

目前,超声检测技术是最为常用的复合材料 NDT&E 检测方法,结合实务应用情况,超声检测方法主要应用于以下场景:

- (1)复合材料的缺陷表征及评估。
- (2)复合材料工艺研发过程中的缺陷检测及评估。
- (3)复合材料结构研制阶段的 NDT&E。
- (4)复合材料工艺制造阶段的 NDT&E。

3.X 射线检测技术的应用

总结 X 射线检测技术在复合材料检测领域中的应用现状,如下:(1)针对试样试片的微结构分析及表征,比如,利用 μ -CT 方法对复合材料的微结构进行表征,以及对复合材料的微气孔进行分析;(2)测试复合材料中是否存在高密度夹杂物;(3)揭示复合材料蜂窝夹芯的结构。归纳来说,经过长期的研发、试验,X 射线检测技术现已实现了工业级应用,被认为是最具潜力的航空复合材料蜂窝夹芯结构检测方法,而且 DR 检测技术在实践中已经被证实具备良好的检测效果,并且不会排除废物废液,缺陷检测速度较高,大有取代传统胶片照相法的势头。CT 检测方法通常被认为是超声检测方法的补充,能够对某些特殊的复合材料结构部位或零部件制品进行检测,可是 CT 检测方法并不适用于对较大尺寸的复合材料板类制件、存在面积型缺陷的复合材料以及翼身类壁板结构等进行检测^[4]。

三、复合材料 NDT&E 技术发展面临挑战

1. 复合材料 NDT&E 技术发展所面临的挑战

以下从四个方面解析航空复合材料 NDT&E 技术当前发展所面临的技术调整,具体如下:

(1)在超声检测技术方面:超声检测技术是当前最为常见的航空复合材料无损检测技术,面向日益更新的复合材料、材料结构以及制造工艺,需要不断创新缺陷识别机理、检测技术以及缺陷判据,这是超声检测技术后续发展的重要风险;航空复合材料结构正朝向复杂化、大型化的分析发展,传统超声检测技术在应用中效果不佳,而应当着力研发具有多维特征的快速可视化检测技术,建立起工业级的智能化、可视化检测系统,这也是超声检测未来发展所面临的重要技术难题^[5]。

(2)在 X 射线检测技术方面:目前,许多 X 射线检测技术业已实现工业应用,但是多数检测方法在应用中都存在不足,比如排放废物废液,损害自然环境等,因此,后续研究应当致力于研发环境友好型 X 射线检测技术,比如,大力发展 DR 检测技术,尤其通过技术改进提高其检测分辨率,最终取代传统的胶片照相法。

(3)在声振、ESPI 检测、红外等检测技术方面:针对特定的复合材料或者特殊的检测环境,研制出易于实现、易于控制的加载技术,在此基础上提出可以实现快速检测以及输出可视化结果的复合材料缺陷检测方法。

2. 复合材料 NDT&E 技术发展新的探索

根据复合材料产业链的发展趋势,尤其注意复合材料

智能制造的发展需求,不断研发新的智能化、可视化、环境友好型的 NDT&E 技术、方法及装备,为未来的复合材料全寿命设计和智能制造等实务工作提供技术支持。归纳来说,不管何种 NDT&E 检测技术的研发和应用都必将经历一段漫长的发展时期,期间必将遭遇多重挑战,其技术轨迹可以提炼为“检测 评估 智能检测 智能评估 智慧检测 智慧评估 智慧预测”,这项伟大的工作需要更多地科研人员付出精力和热情^[6]。

结束语

根据文献分析的结果,超声检测是目前最为常见的复合材料 NDT&E 检测技术,选用适当的超声检测方法,通过分析超声波在复合材料中的传播行为及其变化规律,能够揭示出复合材料可能存在的缺陷、损伤,还能够快速识别出复合材料检的缺陷类型及其损伤程度,超声检测技术符合复合材料工程智能化、可视化、自动化 NDT&E 的发展方向,还能对接于复合材料的智能制造,这使其表现出着旺盛的研发活力。面向日益更新的复合材料新材料、新结构、新工艺以及不断提高的检测需求,超声 NDT&E 技术正面临艰巨的技术难题,需要通过技术改进、技术创新的方式予以攻克。

参考文献

- [1] 高凡. 低空空域内航空器飞行的安全间隔和风险概率分析 [J]. 企业技术开发, 2018(06): 56-57.
- [2] 钟文豪. 基于航空器动力参数的飞行位置预测 [J]. 中国科技信息, 2018(02):123-124.
- [3] 杨崇莹, 黄晓东. 谈 MEL 在航空器活动中的作用和编写管理 [J]. 航空维修与工程, 2017(06):65-66.
- [4] 李凡. 浅谈熟悉航空器性能对做好管制工作的重要性 [J]. 空中交通管理, 2018(04):45-46.
- [5] 吴凌华. 浅谈航空器电子仪表故障的排除策略 [J]. 电子世界, 2020(08):78-79.
- [6] 刘颖韬, 郭广平, 杨党纲, 等. 脉冲热像法在航空复合材料构件无损检测中的应用 [J]. 航空材料学报, 2012, 32(1):72-77.

作者简介:

姓名:李英杰,女,出生于 1986 年 1 月 5 日,汉族,吉林松原人,大学本科,高级工程师.,研究方向:复合材料的无损检测,邮箱:332068995@qq.com.

姓名:邹铁才,男,出生于 1984 年 10 月 5 日,汉族,吉林松原人,大学本科,高级工程师.研究方向:质量管理,邮箱:zoutiecai@163.com.