

工业 CT 技术在飞机修理中的应用分析

陈瑞强

(中航天水飞机工业有限责任公司, 甘肃 天水 741025)

摘要 为保障飞机设备故障修理、损伤处理的可靠性, 航空领域可积极引进工业 CT 技术, 用直观、可视化的检测方法, 清晰地呈现飞机故障, 确保飞机修理效果。因此, 论文结合工业 CT 技术的基本原理及其在飞机修理中的优势, 对飞机修理领域应用工业 CT 技术的必要性展开分析, 随后详细梳理了飞机修理中工业 CT 技术的应用场景, 以此明确该技术在飞机维护管理、故障检修中的应用价值, 助力我国航空航天事业的可持续发展。

关键词 工业 CT 技术; 飞机修理; 缺陷尺寸; 逆向测绘; 复合材料

中图分类号: V27

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)02-0037-03

随着我国工业 CT 技术的成熟, 工业 CT 检测系统被应用在各领域中。在飞机修理工作中, 工业 CT 技术的检测优势非常明显, 能够帮助维修人员定位故障、明确损伤情况, 使维修人员制定更可靠的维修方案。但是为发挥工业 CT 的技术价值, 还应结合飞机维修实际需求, 灵活应用工业 CT 技术, 优化飞机设备的维修方案, 使飞机处于良好的运行状态。

1 工业 CT 技术的原理分析

工业 CT 技术是在计算机技术支持下衍生的“断层扫描成像技术”, 可以在不损伤物体的基础上, 利用 3D、2D 图像直观、清晰地呈现物体结构、缺损、材质。工业 CT 技术的基本原理是利用计算机的扫描辐射作用, 以及物体本身的吸收特性, 用辐射源、放射性核素发射具有一定能量强度的射线, 如 X 射线、Y 射线, 以此检测物品内部射线分布情况、辐射源衰减规律, 并在探测仪器的协助下获取物体内的信息数据, 由计算机重建物体内部图像信息, 显示物体的完整图像^[1]。

2 工业 CT 技术在飞机修理中的优势

1. 工业 CT 技术可以准确定位飞机设备故障, 更快地识别飞机缺损图像信息。传统射线检测技术一般是将 3D 物体投影到平面上, 这种方式会导致图像信息持续叠加, 无法准确地定位、测量设备故障或缺损。工业 CT 检测系统可直接生成 2D、3D 图像, 轻松识别物体的细节特征、内部结构, 呈现物体内缺损的空间位置、形状、尺寸信息等, 为维修人员提供可靠的检测信息。

2. 工业 CT 技术的分辨率较高, 且具有较强的密度分辨能力, 飞机修理中所获取的图像分辨率高达 0.3%,

明显高于普通的无损检测技术。另外, 高性能的工业 CT 检测系统的动态响应范围广, 在飞机修理中可以探测到检测范围内的设备故障、材料缺损情况。据了解, 高性能工业 CT 检测设备探测时的动态响应范围高达 106 以上, 无需在检测中使用图像加强设备。

3. 基于工业 CT 技术的飞机修理图像信息的存储、传送更为便捷, 可以直观显示, 使维修人员及时获取飞机设备缺陷的尺寸、位置、形状, 并根据密度信息了解缺陷性质, 分析缺陷原因, 针对性地进行飞机维修^[2]。

3 飞机修理中应用工业 CT 技术的必要性

1. 随着我国制造技术的发展和 innovation, 飞机生产中的复合材料增多, 各类高强度、刚度好的复合材料成为飞机的重要组成部分。但由于复合材料结构会受多种因素影响, 且内部结构较为复杂, 后期修理时需要通过无损检测的方法, 排查复合材料中的内部缺陷, 使其机械性能、整体结构符合飞机的使用要求。但常用的外观检测、声谐振法、声阻法、超声检测等无损检测技术, 一般只能检测飞机复合材料表面、近表面的部分缺陷位置, 所获取的缺陷尺寸不准确, 使得飞机修理时前期检测的可靠性较低, 维修人员无法依据数量化的缺陷、准确的尺寸信息制定维修方案。

工业 CT 检测技术的高空间、密度分辨率, 及其高对比度分辨率可以在飞机无损检测的基础上, 生成飞机试件中复合材料的 3D 图像, 立体呈现复合材料的内部结构, 以及飞机部件的缺陷空间形状、复合材料的分布区域, 及其在任意截面的尺寸, 使维修人员掌握更可靠、精确的检测结果。不仅如此, 一些高分辨率的工业 CT 在装配“微纳米焦点射线管”后, 其空间分

辨率可达到微米级、亚微米级,实现飞机部件的微观检测,便于维修人员完整地掌握部件信息,如飞机部件的裂纹、变形缺陷,或是分析其孔隙率、内部纤维方向,夯实飞机部件维修基础^[3]。

2.近年来,为维护飞机运行的安全性,完善飞机使用性能,航空航天领域对飞机机件故障无损检测精度、要求逐渐升高,需要对飞机内部的复杂精密产品进行检测维修,并且需要在不解飞机内精密部件的基础上无损检测其缺陷、装配信息。但传统超声、射线、尺寸测量技术无法满足相关要求,只有基于工业计算机断层扫描成像技术,引进工业CT检测系统,才能利用该技术体系中X射线透射原理,对飞机的精密设备、精密元件进行无损检测,同时清晰地了解其缺陷问题,降低飞机维修中复杂部件的检测难度。

4 飞机修理中工业CT技术的具体应用

4.1 测量缺陷尺寸

飞机修理中,工业CT技术可以通过测量飞机某部件、某设备的缺陷尺寸进行故障检测、故障诊断。

1.在分析飞机零件内部缺陷时,工业CT技术可利用3D图像、数据报表等形式,详细地标记、记录飞机零件的缺陷检测结果。在飞机内的复杂零件、复合材料、内部结构的缺陷检测中,工业CT可以对缺陷进行定量检测,获得完整的缺陷尺寸信息。比如飞机中树脂基、碳/碳、陶瓷基等复合材料,以及飞机内的蜂窝结构、整体结构、不可拆结构,都可以通过工业CT技术进行缺陷检测。基于工业CT技术,飞机维修人员能够快速地对缺陷信息进行分析,准确地评估飞机故障原因^[4]。

2.工业CT技术可以依据缺陷尺寸的测量,在修理飞机装配前定位、诊断飞机故障,并在故障修理后进行质量检测。比如对于飞机内部的航空印刷电路板、电器元件、不可拆卸的飞机部件等,其缺陷分析、修理的难度较大,工业CT直接通过无损检测,对相关器件的故障缺陷尺寸进行测量,是新时期飞机航空产品维修的技术支撑。

3.基于工业CT技术,相关人员可在飞机修理时,检测飞机上关键结构的装配部件,排查焊接、螺钉装配等质量缺陷。尤其是在飞机系统调试、地面维修时,工业CT可以在疑似故障的争议中及时提供可靠的检测数据,尺寸缺陷测量内容包括飞机关键部件的安装间隙、有无变形、是否存在位移情况、其他缺陷等。检测流程是:首先确认飞机维修、质量检测的零件、元

器件、装配件、成品件、复合材料;其次用工业CT检测系统放快速扫描被检主体;最后生成可整体透视的直观图像及其任意面的剖视图,由专业飞机维修人员分析缺陷。

4.2 逆向测绘检测

工业CT技术能够针对飞机中的“高精度公差件”、飞机机械类产品、飞机零件、飞机装配件进行逆向测绘,使维修人员根据逆向测绘结果,建立3D模型,并在飞机检修时通过设计恢复的方式,获取修理标准、分析故障原因,制定更合理的修理方案。在飞机修理中,工业CT的主要功能是通过逆向测绘,快速进行原型制造、3D打印制造、数字化维修,分析飞机修理过程中设备故障、缺陷的有限元,并联合CAD/CAM软件对相关设备进行改进设计,控制设备故障、解决缺陷问题^[5]。

具体来说,飞机修理过程中,相关主体可基于工业CT技术的逆向测绘功能,驱动逆向工程系统对飞机设备、元器件进行修理。该系统一般由3部分软硬件组成,分别为:

1.测量仪器、测量软件、工业CT设备、工业CT系统逆向建模VGstudio软件。

2.逆向设计软件,即航空航天领域中的主流软件CATIAV5R16和VGs-tudio。

3.计算机辅助软件,如CAD制图软件、航空领域软件CATIAV5R16共同组成的辅助制造系统。

工业CT逆向工程系统的逆向测绘流程包括:确认飞机修理主体→放置测量设备→计算机系统快速扫描→再现修理区域的3D模型→以3D立体图像输出图像信息→CATIAV5R16、VGs-tudio等软件重建模型。在此过程中,工业CT技术的主要作用是采集飞机修理主体的数据信息,处理相关数据,重构检修模型等。但是由于飞机内部结构、机械零部件、电子产品逆测时,相关主体的形状、尺寸、材质、检测精度要求不同,在CT扫描后建模时,还应灵活调整工业CT的逆向测绘流程。

4.3 故障检测分析

对于飞机修理中的复杂构件、异形件,其尺寸测量是构件修理的基础工作,但常规卡尺仅适用于形状简单、测量方便的飞机构件。而工业CT系统能够测量复杂构件、异形件的拟合线、平面尺寸,比如在球体、圆锥、圆柱的飞机构件测量时,工业CT可布设多个采样点,高精度的测量构件尺寸,了解其内部结构,获

取足够的测量数据。

同时可作为传统接触式测量的补充方式,使飞机维修尺寸测量覆盖整个飞机结构,准确地分析飞机零件的壁厚、测量飞机内橡胶制品的尺寸,基本的测量流程是:确认被测物品→布设工业 CT 测量装置→计算机快速扫描→建立 3D 立体→测量尺寸。但是在选择工业 CT 测量设备时,飞机修理人员还应依据待测零部件的实际尺寸、构造形式,选择适合的工业 CT 设备,使工业 CT 的穿透率、空间和密度分辨率、图像清晰度、尺寸测量精度符合该零部件尺寸测量的要求,且单一的尺寸测量、缺损测量、故障检测适用的工业 CT 设备具有一定差异性,需要结合飞机修理需求选择设备。

4.4 复合材料检测

现阶段,工业 CT 射线源焦点尺寸达到了纳米级别,可以在飞机修理中提供高分辨率的图像信息。因此,在飞机制造中广泛应用复合材料的今天,工业 CT 可以对飞机内短纤维、玻璃纤维、碳纤维等复合材料进行高分辨率扫描,让修理人员了解飞机结构中各类复合材料的分布信息、缺陷特征、尺寸信息,并对设备故障进行定量定性。

比如在碳纤维复合材料检测中,工业 CT 系统所生成的 3D CT 图像,能够让修理人员分别从 X 轴、Y 轴、Z 轴查看被测物体的截面成像,观察飞机试件内的微结构、其他数据信息。在修理航空复合材料制成的“飞机涡轮叶片”时,工业 CT 可以用 3D 图像,使维修人员查看叶片内部孔隙,计算孔隙率大小、缺陷大小,并观察切片图像,局部放大后掌握叶片的受损情况,制定飞机叶片的维修计划。

4.5 腐蚀缺陷检测

飞机修理活动中,腐蚀缺陷检测是飞机无损检测的疑难点,为明确工业 CT 在飞机腐蚀缺陷修理中的价值,相关人员基于飞机腐蚀缺陷的特征,以飞机常用的 2A12 铝板为核心,制作了飞机腐蚀试件,模拟飞机结构面的腐蚀、腐蚀裂纹缺陷,并用工业 CT 对试件进行无损检测。试件规格为长 150mm×宽 80mm×高 1.5mm 的 2A12 铝板,铝板上为人为制造腐蚀缺陷。分别为半径 9mm,深度 0.5mm 的圆形腐蚀缺陷、长为 22mm、深为 0.9mm 的直线腐蚀缺陷。

应用工业 CT 系统扫描后,用计算机依据扫描数据重建 3D 图像,获取该试件的截面图像,为保证显示效果,可利用专业的图像处理软件锐化图像,增强其边缘。

在工业 CT 系统中,修理人员可以清楚地查看图像上试件的直线腐蚀缺陷、圆形腐蚀缺陷,表示工业 CT 在飞机修理中同样能够用于检测飞机表面缺陷、裂纹、腐蚀缺陷。

不仅如此,通过对比工业 CT 系统显示的圆形腐蚀缺陷、直线腐蚀缺陷图像,修理人员可通过观察其腐蚀深度的方式,评估缺陷的严重性,确保缺陷检测结果的完整性,甚至能够直接判定腐蚀缺陷深度,确定缺陷位置。相较于传统的涡流检测、超声检测、红外线检测技术,工业 CT 在检测飞机设备、零件的内部腐蚀,以及飞机表层腐蚀上有着明显的技术优势,可以为飞机修理人员提供高精度的检测数据,且检测结果非常稳定,同时可以满足检测主体的断层扫描要求,使修理人员按照不同断层图像的差异性,准确计算腐蚀面积,测量腐蚀深度,制定可靠的修理方案。

5 结语

综上所述,工业 CT 技术是飞机修理过程中的先进检测手段,可以通过显示飞机零件、故障点的 CT 图像,为维修人员提供更可靠的资料信息,使其排查飞机故障的原因,高效处理飞机设备的故障问题。同时能够详细地修理飞机设备内部的缺陷,保证飞机修理精度、修理质量,改善飞机、飞机设备的运行条件。因此,航空航天领域还应正视工业 CT 技术的价值,做好工业 CT 的应用推广、维修技术研究工作。

参考文献:

- [1] 王刚. 工业 CT 技术在航空航天领域的优势 [J]. 现代制造, 2020(11):1-2.
- [2] 张翠翠, 潘兰, 孟妙, 等. 工业 CT 技术在 C/C 复合材料无损检测中的应用 [J]. 高科技纤维与应用, 2021(06):5-7.
- [3] 王逾涯, 于海蛟, 吕传景, 等. 摄影测量技术在飞机结构件修理中的应用研究 [J]. 机械工程与技术, 2020(06):8-16.
- [4] 崔巍, 吴一梦, 曹福凯. 飞机主体合金裂缝的工业 CT 图像特征提取 [J]. 兵器材料科学与工程, 2022(07):1-9.
- [5] 闫镔, 李磊, 韩玉, 等. 测量型工业 CT 系统关键技术研究与应用 [J]. 中国科技成果, 2021(02):2-5.