

数字化检测技术在复合材料制造过程中的应用

钟日良,马 军,苏 亮,万明燕,徐 丹,王明宇

(江西洪都航空工业集团有限责任公司,南昌 330024)

[摘要] 针对复合材料制造过程中存在的零组件定位不准确、模具高温变形、部件型面变形等问题,应用激光跟踪仪和激光雷达设备对复合材料产品实物和工艺过程进行检测分析,提出了数字化检测技术辅助定位指导装配,开展产品和模具型面检测指导制造的解决措施,有效地改善了复合材料产品质量。

关键词: 数字化检测;复合材料;制造过程;激光跟踪仪器;激光雷达

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2018.16.074



钟日良

工程师,主要从事复合材料制造技术、数字化检测技术和加砂水刀加工技术研究。

复合材料是以一种材料为基体,另一种材料为增强体组合而成的材料。各种材料在性能上互相取长补短产生协同效应,使复合材料的综合性能优于原组成材料而满足各种不同的要求。复合材料因重量轻、强度高、力学性能优良、耐腐蚀性好等优点,已逐

步取代部分金属及金属合金材料,广泛应用于航空、航天、汽车、电子电气等领域^[1-5]。在航空航天领域,复合材料应用已由非承力件及次承力件发展到主承力件,并向大型化、整体化发展。由单纯蒙皮、筋、梁、肋结构向组合整体结构发展,因此组合工艺也由二次胶接向共胶接、共固化工艺发展。同时,航空工业对复合材料产品的尺寸精度提出了更高要求,以满足飞行器隐身、高速的要求。但复合材料对其制造过程极为敏感,且大多为热成型,制造过程中出现的外形超差问题越来越突出,制造复杂度也越来越高。

传统的数字化检测技术大多是针对产品终检,而复合材料件到了终检已很难挽救,随着数字化检测技术和设备的不断发展,本文提出将数字化检测手段应用于复合材料制造过程监测的新思路。

数字化检测技术

1 概述

数字化检测技术是根据高精度、

快速、自动化、复杂对象、动态等测量要求而产生和发展起来的一项高新技术,其基本内容是利用数字化的检测设备和相应软件对被测对象进行检测,经过数据采集、数据转换、数据处理与分析、数据显示等过程,转化为直观、可视程度高的数据^[6-7]。数字化检测工作就是利用数字化设备实现对被测对象数据采集,通过相应的软件实现采集的数据处理与分析,最终显示直观的数据。

2 数字化检测在复合材料上的应用工作模式

数字化检测在复合材料制造过程中的应用体现为应用数字化检测设备如激光雷达、激光跟踪仪等对复合材料产品或工艺过程进行数字化测量。获得点云数据,进而利用相关软件(如 Geomagic、Polyworks、SA等)对点云数据进行去噪、滤波和平滑、网格化、补小孔等处理得到满意的数据,然后利用3D对齐技术将点云数据模型与理论模型进行对比,并以可视化彩色浓淡图或数据报表形

式显示被测件的对比情况^[8]。数字化检测工作流程如图1所示。

复合材料数字化检测主要应用设备

1 激光跟踪仪

激光跟踪仪(见图2),被称为移动式三坐标测量机,是基于球坐标系的便携式坐标测量系统,具有测量精度高、实时快速、动态测量、便于移动等优点^[9-10]。激光跟踪仪可以测量目标点距离和水平、垂直方向偏转角。该设备可实现单个点测量和型面扫描功能,其基本原理是在目标位置上放置一个反射镜(或是类似部件如T-Probe、T-Scan、T-Mac等),激光跟踪头发出的激光射到反射镜上并反射回到跟踪头。当目标移动时,跟踪头调整光速方向来对准目标。同时,返回光束被检测系统所接收,用来测算目标的空间位置。该检测方法属于接触式测量,且只能检测人工能够触及的范围,可用于部件型面检测,尺寸、位置误差分析,工装、型架、部件、整机装配精确定位。

2 激光雷达

激光雷达拥有球形测量系统,利用高精度反射镜和红外激光光束测量方位角、俯仰角和距离^[11],其中方位角和俯仰角通过内置于主机中的两个编码器测量。距离利用调频相干激光雷达技术测量,最后通过球形坐标与笛卡尔坐标的转换得到被测点的X、Y、Z坐标。测距的工作原理如图3所示,雷达主机发射的红外激光被分为两束,一束直接到达被测物表面,并被反射,所用传输时间为目标时间;另一束传入已知长度的光纤内,输出时间为标准时间,两束光纤信号被汇合,并输出一个混频信号。通过目标时间与标准时间之差计算出激光雷达到目标的距离。通过多根固定长度的光纤,采用比较测量的方式来完成空间距离测量。这种测量方式属于非接触式测量,只要

在检测范围内且激光点能射到的地方均可测量。因此激光雷达可用于检测特殊环境的工件(含复材产品或工装),如加热至高温情况下的工件、辐射严重的工件或处于低温环境中的工件等。

数字化检测技术在复合材料制造过程中的应用

1 利用激光雷达对热成型模具监控

模具几乎伴随复合材料制造的整个过程,在零件成型阶段有成型模,在组合阶段有组装模具。在复合材料制造过程中,金属模具会因为受热膨胀发生形变,且与复材热

胀系数存在差异,导致零部件产生外形偏差。因此,模具的精度及高温下的状态直接影响复合材料成型件、组合件的精度。运用激光雷达设备,对模具进行不同环境下的型面检测,查找分析复材件的变形来源,能够保证模具精度。

某翼形件采用一套新的模具成型,由模具生产的第一件产品经过质量检查后发现,产品发生较大变形。此前,由旧模具生产的产品未出现此类变形,由于除模具之外的其他主要因素,如工艺成型方法、工艺设备、工艺材料等未发生变化,因此,初步判断产品出现此类变形的主要因素是

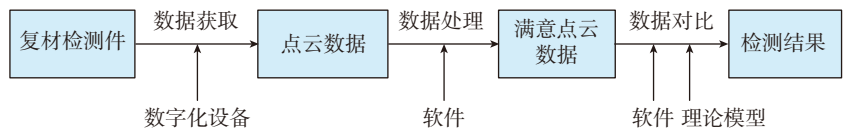


图1 数字化检测工作流程

Fig.1 Digital testing workflow



图2 激光跟踪仪实物图

Fig.2 Figure of the laser tracking device

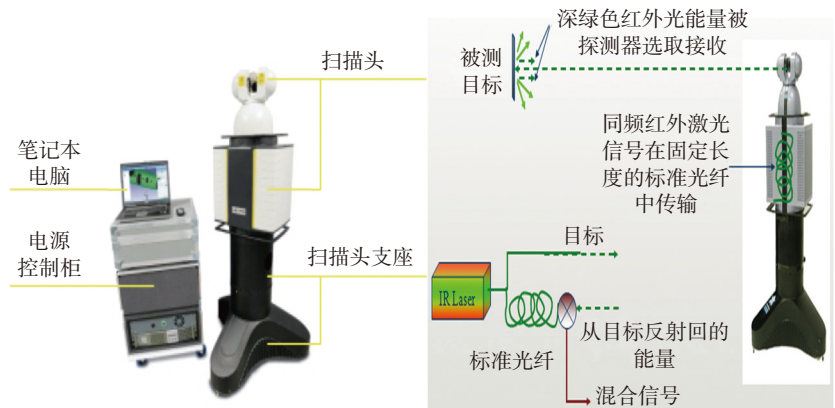


图3 激光雷达实物及原理图

Fig.3 Object and schematic diagram of laser radar

模具。

为了验证推测,需要应用数字化检测设备开展模具加热前、后型面检测,分析模具加热前后变形情况。两个状态下模具的数据,需在同一个坐标系下或者能关联到同一个坐标系下,这要求两次检测应用的检测设备相同,且两次检测设备与待测模具之间相对位置不变;需对两次数据进行对比分析,分析使用的数据为同一位置处的数据;得出加热前后模具变形情况。由于模具需要加热至 180°C ,且需要应用检测设备获取该温度下模具数据,因此检测时模具只能放置于加热设备中。加热温度 180°C 属于高温,操作人员不能接触或近距离靠近加热后的模具,经过对激光跟踪仪和激光雷达的检测原理、检测方法、检测优点进行对比后,最后选用激光雷达设备完成对该模具的检测。

出于整个检测过程中(含加热时间)激光雷达和待测模具的位置不能发生变化的考虑,应用烘箱对模具进行加热。将激光雷达摆放于烘箱门口,综合考虑设备高度和检测距离因素,将设备置于距离烘箱前约 1m 的位置;模具固定于烘箱中,检测时将烘箱门打开。激光雷达的自动测量功能,可通过具有理论数据的点自动测量出对应的实际位置值;也可通过已经测量的点组合,自动测量出对应的另外一组点组合,此功能可用于该模具加热前后的数据获取。为了每次测量的点相同,用记号笔在模具上按照一定规律画出标识,如图4所示,其中图4(a)为按照规律画出的点示意图;图4(b)为应用激光雷达测量小圆点得到的点阵图,分为5行每行19个点。实际测量时先用手动测量方式测量这些点——手动调节激光雷达激光调整至测量点,然后采用自动测量方式测量。

应用SA软件中关系匹配功能,将通过上述方法得到的模具加热前

后的点数据组合进行对比,得到加热前后模具受热变形情况,且测量分析得到的受热变形情况与实际产品外形偏差值基本一致。

通过SA软件对比得到的数据,然后做成曲线观察变形趋势,如图5所示,图中A~E分别为图4中对应于 $A1\sim A19$ 、 $B1\sim B19$ 、 $C1\sim C19$ 、 $D1\sim D19$ 、 $E1\sim E19$ 位置的模具受热前后变形量所绘制的曲线。从图5中可知,该模具在受热后按一定规律变化,每条曲线从第1点到第19点变形量逐渐变小,且变形方向相同;几条曲线的斜率比较接近,因此可推断出模具在受热后变形趋势一致。通过数字化检测技术测量分析得出该类模具在受热后型面变形规律,可作为该类产品工艺改进的依据和为今后该类模具设计制造时补偿模具受

热后的变形提供参考。

2 采用激光雷达对复合材料产品装配辅助定位

为了增加复合材料制件的刚性,需要在蒙皮上增加许多筋条。加强筋一般通过胶接、铆接的方式固定,在固定时,筋条的位置精准程度直接决定产品质量,甚至影响后续装配工作能否进行,因此筋条的位置精准确定显得尤为重要。将数字化检测技术应用于筋条位置辅助定位,可较大程度提高筋条定位精度。

实施检测过程中,先按照常规的工艺方法将筋条定位、预固定;然后使用激光雷达设备获取筋条数据,分析筋条位置误差;根据误差情况再调整筋条位置,经过反复地调整,最终得到筋条的精准位置;使用胶接或铆接方式将筋条与主体连接、固

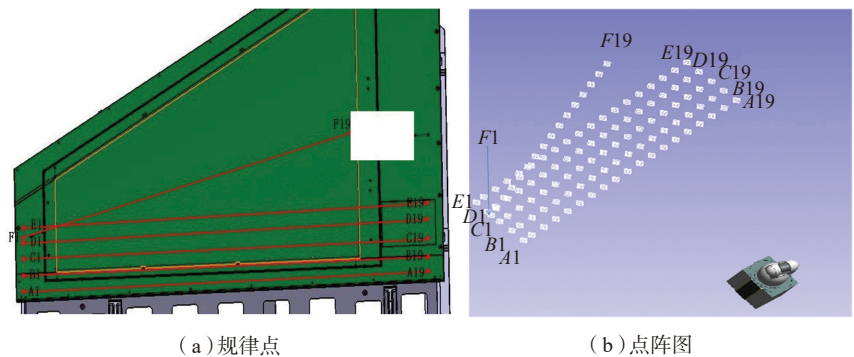


图4 标识点布置图及实测图

Fig.4 Marking point layout and the actual mapping

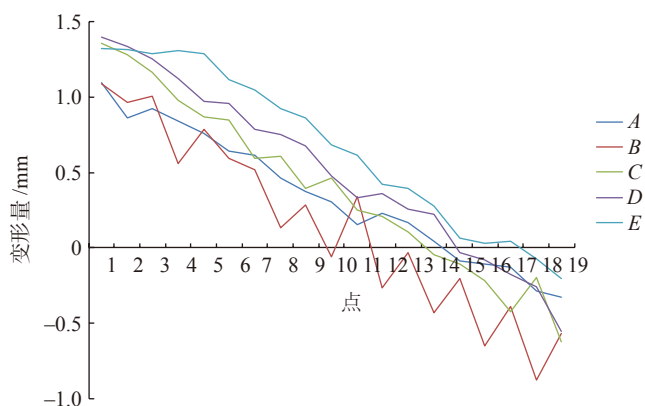


图5 某翼型件成型模高温状况下型面变形量曲线图

Fig.5 Curve graph about shape deformation of a wind part mould at high temperature

定。图6所示为应用激光雷达设备检测某筒壁上筋条的位置检测结果,通过检测发现筋条4和筋条5位置超差,需进行调整,此筒体成型后筋条位置符合设计要求。

3 利用激光跟踪仪对复合材料产品型面测量并指导修补

某复合材料伞形件型面要求较高,要求在0~0.07mm范围内,一般的数控机械加工很难满足要求。打磨修补属于一种精加工方法,可对个别区域的型面超差情况进行修补。应用传统检测方法不能精准确定整个型面超差值和超差区域,因此只能应用数字化检测技术开展该类复材件的测量。

先将激光跟踪仪设备连接好,并获取型面数据;然后将获取的数据在软件中处理,删除一些杂点和产品边缘之外的区域,修补数据中的一些孔洞等,获得质量高的数据;最后将获得的数据与理论数模进行拟合得到拟合结果——色差图,根据图中不同颜色可看出不同区域的型面超差情况。图7所示为该伞形件检测结果。图7(a)通过不同颜色显示出偏差分布情况,图7(b)以表格形式对比结果的平均偏差值、标准偏差值、误差分布情况等信息,这些信息可评价被测对象整体质量。

对于型面误差较大的区域通过打磨的方式修型,为了避免打磨修型时影响产品,需要准确确定打磨区域和打磨量。根据上文所述,应用数字化检测技术对产品进行检测并在软件中与数模对比,最后通过色差图显示检测结果。根据色差图显示情况直观地看出产品型面超差区域,结合尺寸标识直接得知超差大小,也就是需打磨的区域和打磨量。图8所示为应用激光跟踪仪检测某伞形件型面色差图,根据色差图和公差要求进行修补,黄线区域为需要打磨/修复区域,打磨/修复值分别是黄线区域内所标值,分别是0.7mm、0.4mm、

0.4mm。

数字化检测技术为复合材料产品提供了一种新型精准的检测方式,不仅可高效、快速地实现复合材料产品型面测量,而且检测结果可对产品

打磨和修补进行指导。

结论

数字化检测技术是集计算机技术、检测技术、激光技术于一体的技

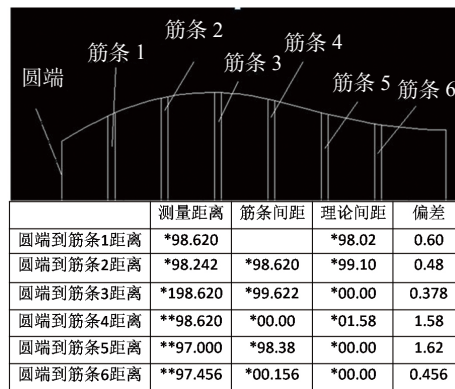
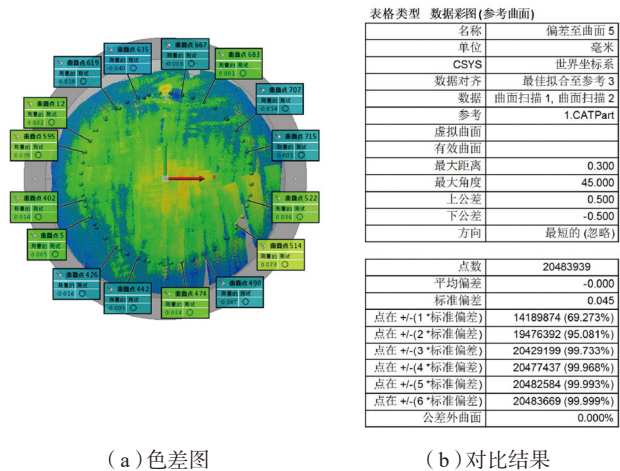


图6 某筒件及筋条位置检测结果

Fig.6 A kind of a tube and test results of it



(a) 色差图

(b) 对比结果

图7 某伞形件型面检测结果

Fig.7 Test results of an umbrella form part surface

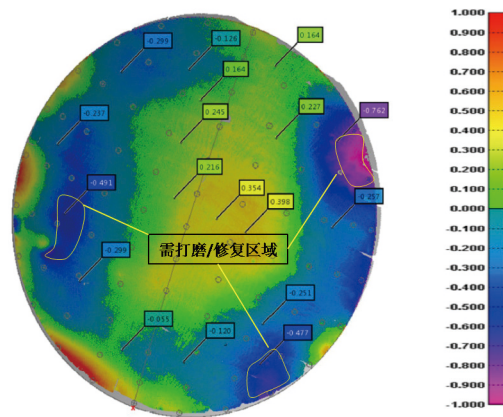


图8 某伞形件型面检测结果及打磨区域标识

Fig.8 Test results of an umbrella form part surface and polishing

术。将数字化检测设备应用于复合材料制件的科研生产中,可有效提高检测精度、速度和效率。通过数字化检测设备检测原理剖析,应用激光跟踪仪或激光雷达开展复合材料产品检测和工艺过程中工装及零部件检测;开展模具在成型过程中的变形分析,指导新模具的设计制造;开展复材部件装配定位,指导装配;开展复材型面测量,分析型面偏差状况,指导工艺采取相应措施,从而提高了产品质量和生产效率。数字化检测技术在复合材料制造过程中的应用,为复合材料大规模工程应用提供了有力保障。

参考文献

- [1] 王衡,孙明.激光跟踪仪在复合材料零件检测中的应用[J].复合材料构件设计与制造,2014(23/24):93-94.
- WANG Heng, SUN Ming. Application of laser tracker in composites parts measurement[J]. Design and Manufacture of Composite Materials, 2014(23/24): 93-94.
- [2] 杨建新,杨玉洲.激光跟踪仪在测量工件尺寸及形位误差上的应用[J].工业技术,2015(13):85.
- YANG Jianxin, YANG Yuzhou. Application of laser tracker in the measurement of the size and position err of work piece[J]. Industry and Technology, 2015(13): 85.
- [3] 陈雪梅,刘顺涛.飞机数字化装配技术发展与应用[J].航空制造技术,2014,57(1/2):60-65.
- CHEN Xuemei, LIU Shuntao. Development and application of digital assembly technology for aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014, 57(1/2):60-65.
- [4] 陈博.飞机钣金件外形数字化检测系统研发[D].南京:南京航空航天大学,2014.
- CHEN Bo. Research on digital detection technology for the shape of aircraft sheet metal parts[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2014.
- [5] 张军强,饶锡新,樊丽萍.数字化检测技术在模具修复中的研究与应用[J].能源研究与管理,2011(1):57-58.
- ZHANG Junqiang, RAO Xixin, FAN Liping. Research and application of digital measurement technique in mould repairing[J]. Energy Research and Management, 2011(1): 57-58.
- [6] 冯子明.基于三维模型的飞机数字化快速检测技术研究[J].航空制造技术,2011,54(21):32-35.
- FENG Ziming. Research on digital and rapid inspection technology based on 3D model for aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011, 54(21): 32-35.
- [7] 安志勇,曹秒,段洁.数字化测量技术在飞机装配中的应用[J].航空制造技术,2013,56(18):48-51.
- AN Zhiyong, CAO Miao, DUAN Jie. Application of digital measurement technology in aircraft assembly[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013, 56(18): 48-51.
- [8] 丁力平,陈文亮,卢鹤.面向大型飞机装配的组合式大尺寸测量系统[J].航空制造技术,2013,56(13):76-80.
- DING Liping, CHEN Wenliang, LU Hu. Combined large-scale measurement system for large aircraft assembly[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013, 56(13): 76-80.
- [9] 袁正茂,韩锋,李鸣阳,等.基于激光跟踪仪的大尺寸外形辅助测量装置研究[J].航空精密制造技术,2014(1):9-11.
- YUAN Zhengmao, HAN Feng, LI Mingyang, et al. Research on large size shape auxiliary measuring device based on laser tracker[J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2014(1): 9-11.
- [10] 周娜,安志勇,谭清中.基于激光雷达的型面扫描技术研究[J].光学与光电技术,2011(5):58-60.
- ZHOU Na, AN Zhiyong, TAN Qingzhong. Research on profile measurement technology based on the laser radar[J]. Optics and Optoelectronic Technology, 2011(5): 58-60.
- [11] 陈少君,胡黎明,张玉良,等.大型航天器仪器板装配工艺研究[J].航天制造技术,2013,8(4):45-51.
- CHEN Shaojun, HU Liming, ZHANG Yuliang. Study on instrument board assembly technology of large spacecraft[J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2013, 8(4): 45-51.

通讯作者:钟日良, E-mail: 597953945@qq.com。

Application of Digital Measurement Technique in Composite Materials Processing

ZHONG Riliang, MA Jun, SU Liang, WAN Mingyan, XU Dan, WANG Mingyu
(Jingxi Hongdu Aviation Industry (Group) Co., Ltd., Nanchang 330024, China)

[ABSTRACT] The paper aims at the problems of inaccurate positioning of part, mould deformation at high temperature condition, and deformation of component surface in the process of composite materials. Laser tracker and laser radar equipment are used to detect and analyze the physical and technological process of composite materials. The solutions that digital detection technology is used for auxiliary locating and guiding assembly, applied for surface inspection of product and mold, and conducting manufacturing are put forward, and effectively improve the quality of composite materials.

Keywords: Digital detection; Composite material; Manufacturing process; Laser tracker; Laser rader

(责编 大漠)