

基于三维信息模型的飞机复杂零部件快速检测技术

Rapid Inspection Technology of Complex Aircraft Part Based on 3D Information Model

沈阳航空航天大学航空制造工艺数字化国防重点学科实验室 屈力刚 武大伟 杨野光

[摘要] 本文论述了基于三维数字化模型的飞机复杂零部件快速检测的方法,结合数字化检测装备,探讨了飞机复杂零部件在几何工程量、装配过程中实现快速检测的技术路线,并根据飞机数字化研制的需求,提出了数字化快速检测技术应用的研究重点。

关键词: 数字化检测 三维信息模型 数字量数据检测系统

[ABSTRACT] The rapid inspection method of aircraft parts based on 3D digital model is discussed. The technical implementation route of the rapid inspection complex aircraft parts is explored, especially the geometric engineering quantities of the parts and their assembly, taking account of the digital inspection equipments. The research highlights of digital rapid inspection are presented according to the requirement of aircraft digital development.

Keywords: Digital inspection 3D information model Digital data Inspection system

随着计算机软硬件技术和数控设备的发展,以三维数字化设计、数字化样机、数控加工仿真与工艺模拟、产品制造数据与过程管理等技术为核心的数字化技术在飞机研制过程已广泛应用,并推动航空制造业数字化技术的发展。但在航空制造业的数字化技术体系中,数字化测量技术一直受测量方法、技术及其工具的制约而发展缓慢,传统的检测方法和工具难以完成对飞机零部件数字化检测,这已成为飞机数字化制造技术发展的瓶颈。

1 技术需求

1.1 飞机产品测量技术现状

(1)传统的测量方式仍在大面积采用。

虽然三坐标测量机、激光跟踪仪、摄影测量仪、雷达扫描仪等数字化检测设备出现在了飞机制造企业的生产现场,但是由于受到检测环境、人员素质及技术水平的限制,这些先进的数字化检测工具难以快速替代传统的检测方式,而以样板、模胎等为主的传统检测方式仍占主导地位,致使出现测量速度慢、成本高、易造成人为操作误差等弊端。

(2)数字量测量数据未在产品制造过程有效表达。

虽然飞机研制实现了三维 CAD/CAM 为核心的数字化技术,但是在产品设计过程中创建的只是产品几何模型,尚未创建适用于产品检测数字化模型,即使采用数字化检测工具,所检测的数据难以与上游的产品数据实现对比。因此,目前企业尚未形成产品数字化检测建模的机制,产品检测数据未在产品制造过程有效表达,也在一定程度上阻碍了数字化测量技术的推广与应用。

(3)数字化测量技术体系尚未搭建。

数字化测量设备在飞机产品检测过程中,基本上都是单点检测,没有实现网络化、实时化应用。因此,需构建基于测量信息的产品建模、产品测量与检测技术规范及其数字化检测软硬件系统等关键技术为核心的技术体系,才能实现产品数字化测量的技术应用。

1.2 飞机产品测量的技术类型

根据飞机产品零部件结构特点和实际生产过程的需求,飞机产品测量主要分为以下 3 类:

(1)产品零件外形几何量测量。

以机加零件为代表的零件,以获取零件的形状、位置等几何数据为目的而进行的检测与测量,要求保证零件的加工精度及质量。

(2)复杂零部件的型面测量。

以双曲面曲面钣金件为代表的零件,通过对该复杂零件实物的检测,与其三维模型进行拟合、分析、对比,从而判断具体产品与数字模型偏离的数量,得出产品是否合格的结论。

(3)飞机零部件装配(对合)过程的位置检测,实时监测位置点误差,实现快速装配。

2 数字化测量技术应用

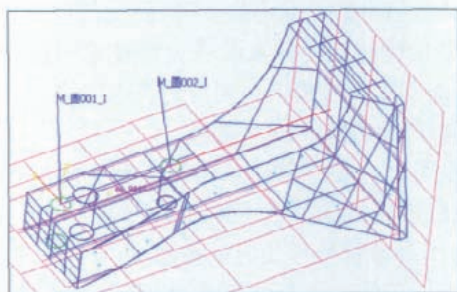
数字化测量技术是通过数字测量系统(工具)实时监控、测量产品上相关控制点(关键特性)的位置,建立起产品零部件基准坐标系统,并在此坐标系统中将产品上关键特征点的数据和 3D 模型定义数据直接进行比较,分析出空间测量数值与理论数据的偏差情况。数字化测量技术实现了飞机零部件工程数据的数字化传递,进而实现了数字化的快速测量,这个过程规避了模型数据和检测数据转换过程,提高了测量效率和质量。

2.1 产品零件外形几何量快速测量技术

利用三坐标测量机、关节臂式测量机等数字化测量设备,针对工件的几何尺寸和形位误差进行测量,检验产品加工合格性。此类测量主要针对零件的点、线、弯边等关键工程特征进行测量与标定,其关键技术是利用数字化检测设备测量,通过坐标系定义与理想模型的拟合处理,直接测量出零部件几何量数据,进行合格性分析。如图1所示的产品几何量测量。



(a) 测量零件实物



(b) 测量零件数模与测量特征

图1 几何量数字化测量示例

Fig.1 Example of digital inspection on geometric quantities

2.2 复杂零部件快速检测技术

利用激光扫描仪、光学照相系统等光学数字化测量系统,快速识别复杂零件样件表面特征数据(模型数字化),与三维模型进行拟合、分析、对比,从而判断具体产品与数字模型偏离的数量,得出产品是否合格的结论。此类测量主要针对零件的复杂曲面(如双曲面、复杂铸件等)进行表面质量测量,其关键技术主要是实物模型数字化、坐标系拟合、数据对比等,如图2所示为关键技术实施方案,图3为相关示例。

2.3 零部件装配(对合)过程快速测量技术

集成光学测量系统、自动化伺服控制系统和机械随动定位系统完成大部段的装配过程的实时定位特征点位置测量,指导零部件装配操作,通过数字化检测模式彻底地改变传统飞机设计与制造的理念。

该技术是数字化测量的集成系统,具有一定的代表

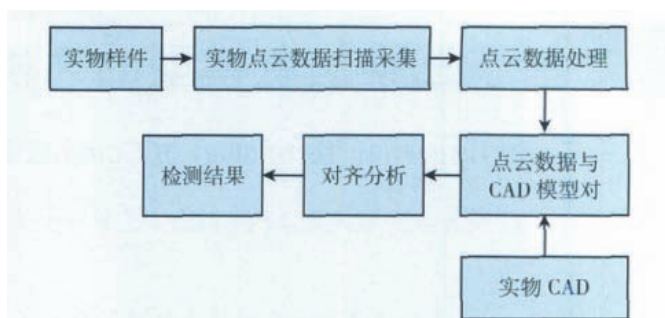
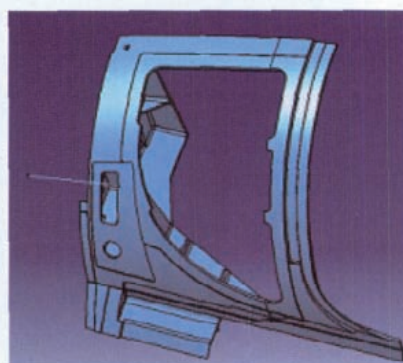
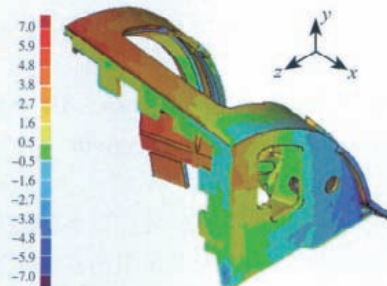


图2 复杂零件数字化测量技术流程

Fig.2 Technical workflow of digital inspection for complex part



(a) 测量零件数模



(b) 对比测量结果

图3 复杂零件数字化测量示例

Fig.3 Example of digital inspection for complex part

性和典型意义,其关键技术包括装配与定位构件未知数字化测量,装配误差分析与控制系统开发,测量、控制与机械系统的集成等,图4为技术流程图。

3 数字化测量技术发展

随着软硬件技术的不断发展和飞机零部件制造质量要求的不断提高,数字化测量技术必然会不断改进和提高,以满足飞机数字化制造生产的需求。

(1) 基于检测信息相关的建模技术。

为满足产品零部件数字化测量技术的需要,产品设计阶段不仅要创建零部件的几何模型,以满足足够设计的合理性检验;同时需要进行面向产品制造、装配、管理等过程的数字化建模技术研究,尤其是面向产品检测的

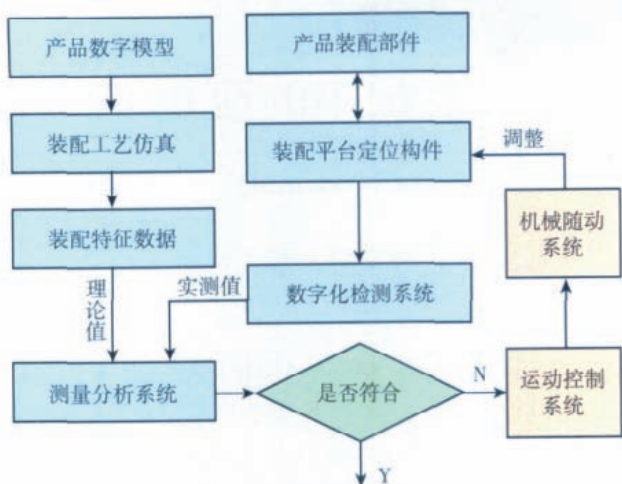


图4 装配过程数字化测量技术流程

Fig.4 Technical implementation route of digital inspection of assembly process

检测信息模型定义、创建技术的研究,从而解决模型数据中测量信息数据的表达问题,同时也是解决后续产品零部件数字化检测的基础。图5为基于三维全信息模型的表达结构。

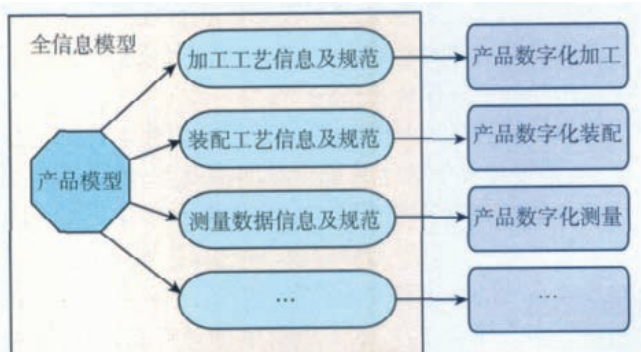


图5 基于三维全信息模型的表达结构

Fig.5 Expression structure based on 3D all-information

(2) 基于3D模型信息的快速检测软件系统开发技术。

针对某类零部件,开发专用的快速检测软件系统平台,有效地与数字化检测硬件连接,构建完善的数据集输入输出接口,对具有检测信息相关模型的理论数据与实际采集数据快速对比,进而实现对飞机复杂零部件的快速检测;针对装配过程的定位、调整需求,需要构建数字化测量与控制系统,实现系统对装配过程及其零部件的精确移动与定位,保证装配精度的实时性、准确性、高效性。此类专业化平台是解决零部件快速检测的有效手段。

4 结束语

本文分析了飞机数字化制造过程中数字化测量技

术的现状、技术需求,并结合实际研究工作,总结了目前数字化测量技术的主要应用领域和技术实施方案,并提出了数字化测量技术发展需要解决的技术目标。

(责编 晓立 岭雾)

(上接第64页)

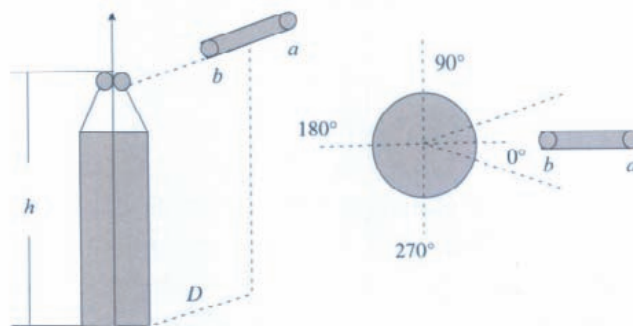


图4 采用碳纤维标准尺干涉位置校准激光跟踪仪布局示意图

Fig.4 Calibration of laser tracker by using carbon fiber gauge's interference position

故每月测量获得 4×4 组数据,分别于5月、8月和11月测量,共3次,获得 $4 \times 4 \times 3$ 组有效数据。按照本文第3条方法进行数据分析和处理,3次试验在不同的环境条件下得到的比对结果非常相似,变化在 $13 \mu\text{m}$ 范围内。

6 结论

(1) 利用通过1.5"的球形目标复现的、具有较高长度稳定性的碳纤维校准标尺作为参考长度,可以完成激光跟踪仪的现场比对,通过参考长度,4台激光跟踪仪可以成组性间接溯源至上一级计量标准。

(2) 以北京长城计量测试研究所对参考长度的校准数据作为旁证,同一台激光跟踪仪在不同距离的水平位置、垂直位置、 45° 和干涉位置对参考长度的测量得到了有效的比对数据。3次试验在不同的环境条件得到的比对结果非常相似,变化在 $13 \mu\text{m}$ 范围内,说明比对方法具有很好的复现性。

(3) 根据ASME B 89.4.19-2004和我国通用的量值传递方式之一的共用传递标准传递方式,本方法可以对激光跟踪仪的性能进行有效的评估。

(4) 根据ASME B 89.4.19-2004,本方法所采用参考长度的扩展不确定度满足要求,但由于经费所限,参考长度没有达到2.3m,所以对于采用2.3m的参考长度作为激光跟踪仪点对点长度比对的核查标准,有待进一步试验。

(责编 晓立)