

# 基于三维模型的飞机数字化 快速检测技术研究

Research on Digital and Rapid Inspection Technology Based on 3D Model for Aircraft

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 冯子明



冯子明

现任中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司副总工程师,中航工业首席技术专家和信息化专家。2006年被授予“国防科技工业有突出贡献中青年专家”荣誉称号,2007年获得国务院的政府特殊津贴。

随着飞机数字化设计与制造技术的发展,大型整体结构件用量的不断增加,以及民用飞机经济性与安全性要求的日益提高,对产品的制造精度也提出了更高要求,使产品检测难

传统的测量技术已难以满足飞机零部件快速、高效、高精度检测要求。当前基于三维模型的数字化检测技术应用已成为打通飞机复杂零件与大尺寸零部件数字化设计、制造、检测一体化流程、提升检测效率与水平的关键环节。

度日趋加大,从而对测量技术提出了新的需求,传统的测量技术已难以满足飞机零部件快速、高效、高精度检测要求。当前基于三维模型的数字化检测技术应用已成为打通飞机复杂零件与大尺寸零部件数字化设计、制造、检测一体化流程,提升检测效率与水平的关键环节。

## 飞机数字化检测技术发展 现状与需求

### 1 飞机数字化检测技术发展现状

近年来,国外基于模型定义(MBD)技术在波音787机型上的成功应用使得设计制造一体化技术得到大发展,与此同时,以坐标测量机、激光跟踪仪、激光扫描仪等为代表的

数字化检测技术正在取代传统测量技术,在飞机机身复杂零部件以及大尺寸零部件检测中得到越来越普遍的应用,并成为飞机数字化制造中的关键支撑技术之一,在提高飞机制造和装配质量和效率方面发挥了重要作用。波音、空客、洛克希德·马丁、罗·罗、Messier-Dowty、福特等公司已经普遍采用基于数字化测量设备的产品三维检测与质量控制手段,建立了较完整的数字化检测技术体系,开发并部署了相应的计算机辅助三维检测规划与测量数据分析系统,制定了相应的三维检测技术规范,显著提高了检测效率与质量。同时,国外航空制造部门也已越来越多地以便捷高效的制造现场数字化检测技术

为支撑,发展新的、高效率的制造流程和工艺(如通过现场检测定位减少或简化装配工装等),并应用于飞机产品质量控制、加工现场的制造数据反馈与自适应补偿、柔性自动化装配定位等,直接推动了相关技术和工艺水平的大幅提升,极大地提高了制造质量和生产效率。

## 2 飞机零部件检测需求

国内飞机制造企业在飞机研制生产中也较多地应用了三坐标测量机、激光跟踪仪等测量设备和测量技术,在产品质量控制方面发挥了重要作用。但是目前对于钣金零件、复合材料等非金属材料以及飞机部件的外形检查,仍在大量使用样板、模胎、专用检验工装及量规、塞尺等检验方法进行检测。这种检测结果是基于模拟量的合格与不合格,难以精确地描述零部件状态,更无法将实物的真实状态反映到产品模型上形成设计-制造-检测的闭环控制,造成零件精度较低,影响飞机装配质量,难以满足飞机的气动外形要求。

航空产品的复杂性使零部件各具特点,不同的零部件在生产过程中有不同的快速检测需求。例如,大型机加零件(梁、框、肋类零件)需要对其轮廓外形、筋条位置与高度、孔位等尺寸进行快速检测(见图1)。飞机蒙皮和整流罩类立体复杂曲面钣金件需要对其型面、切边与开口位置和尺寸进行快速检测。平板类钣金零件需要对其型面、弯边、切边和下陷等尺寸进行快速检测;复材壁板需要对其型面、切边、长桁位置等尺寸进行快速检测;在飞机装配过程中,既有对点(交点、装配基准点、关键特征点)精确测量的需要,也有对复杂型面的测量需求。针对不同的需求,任何测量设备和方法都不是万能的,都有其优点和局限性,如何综合利用各种数字化检测设备解决生产环节中的数字化检测问题已成为飞机制造企业发展的关键技术瓶颈。

因此,飞机制造企业急需根据不同需求开展数字化检测技术研究,形成针对不同类型零部件的快速数字化检测方法指南,并利用先进的测量设备,开发辅助的软硬件系统,建立与数字化设计制造环境相适应的数字化检测技术体系。

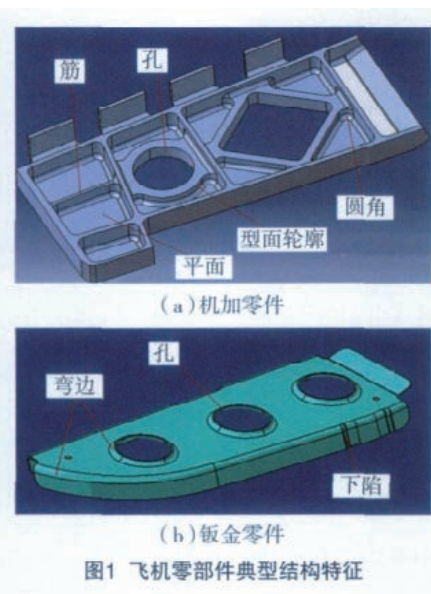


图1 飞机零部件典型结构特征

## 飞机数字化快速检测技术体系构建

飞机数字化检测技术研究与应用总体框架如图2所示。基于全三维模型的数字化快速检测体系核心主要由4部分构成:检验规划与程序的快速生成、数字化快速测量、快速数据处理与分析、数字化快速检测技术应用规范制订。

### 1 检验规划与程序的快速生成

在现场数字化检测实施前,从三维模型中识别、提取检测特征,通过制定合理的检验工艺规程选择合理的测量设备,进行测点规划与布局,对检测路径进行优化与仿真等可以提升检测效率与质量,亦有助于实现检验规划与三维检测模型的融合。

实现检验规划与程序的快速生成应开展包括基于零部件典型结构特征的检测任务快速定义、识别与提取;基于三维模型环境的检测工艺规程编制;检测坐标系构建;检测方

案选用;三维检测模型轻量化;三维检测工艺规程规范化输出等内容研究,实现检测工艺规划过程与产品MBD模型的融合,为后续基于三维模型的数字化检测、数据分析、质量评价以及质量控制提供依据与指导。

### 2 数字化快速测量

飞机钣金零件、复合材料构件和大型复杂数控加工件数量多、结构形式复杂多样,因此需要从3个方面解决快速测量问题。一是利用照相或激光测量等先进测量技术,研究不同类型零件的检测方法;二是开发辅助的自动化装置,与测量设备配套构建零部件自动化检测系统;三是开发通用量具现场辅助数据采集接口,实现检测数据的自动采集与上传。

数字化快速测量的重点研究内容为零件三维自动化检测方案、数控检测机构的设计、构建和协调控制以及多视角点云测量路径的离线数控编程与仿真;各类钣金件、复材件的快速检测实施方法;部件级数字化检测方法;以机器视觉检测手段为核心的多种测量方法的综合集成、多种测量数据的拼接融合等。

### 3 快速数据处理与分析

目前对大量点云数据多采用逆向建模原理进行处理,而面对未来多种测量设备共同构建测量场进行复杂产品检测、并与三维数模进行对比分析的需求,必须实现数据的快速处理与分析。快速数据处理与分析是结合工程实际通过高效算法研究,实现大规模测量数据的高效处理。同时将预处理分析的测量数据与产品三维模型进行关联,实现测量数据与理论数据的快速比对与质量评价。

快速数据处理与分析的研究内容主要包括异构测量数据的拼合、融合、去噪、光顺、过滤等数据预处理方法;各类工程约束下测量数据与产品数模的对齐配准技术;基于三维数模和检测规范的误差分析评估技术;数据分析处理的最优算法和数

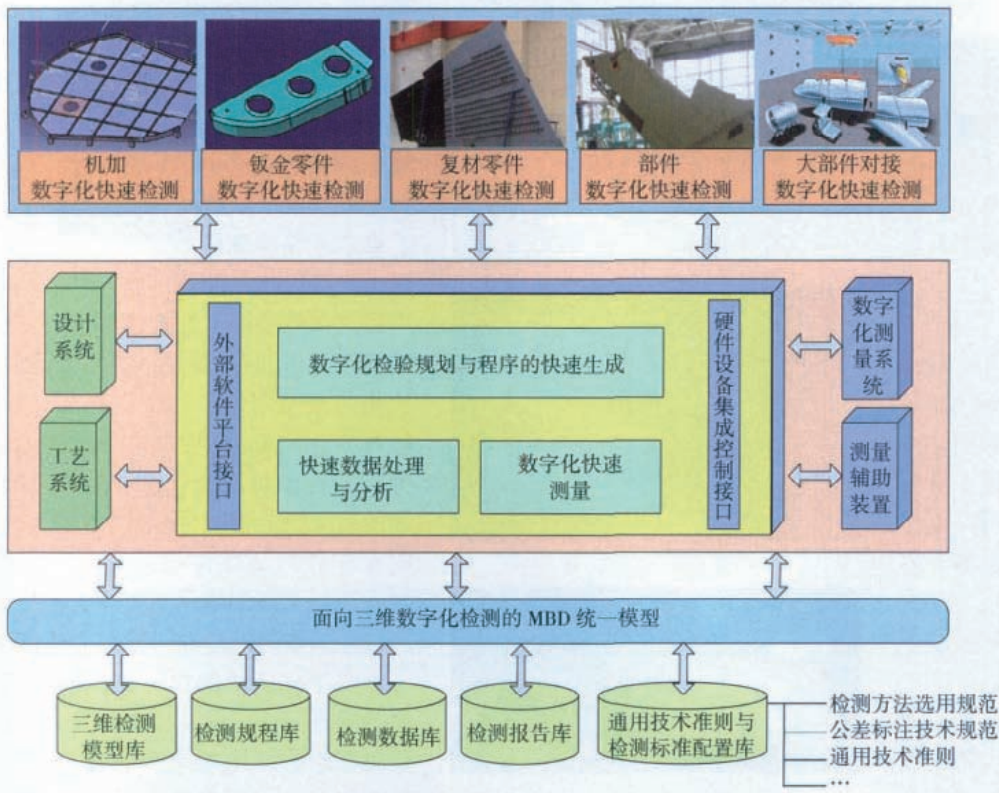


图2 飞机数字化检测技术研究与应用总体框架

上,基于结构特征构建、定义零件检测特征,为后续的检测规划、检测数据比对处理以及质量控制提供指导。

## 2 基于三维模型的检测规划技术

在CATIA平台上进行二次开发,实现基于CATIA环境识别并提取产品设计或工艺三维模型中的几何特征与公差信息,获取测量需求。根据测量需求,进行检测工艺规程编制,选择合理的测量设备,制定测量顺序,进行测点规划与布局,生成无碰撞的检测路径,对检测路径进行优化与仿真。检测规划结果输出为附带三维轻量化检测模型的检测工艺规程文件与测量程序文件。

在基于三维模型的检测特征识别、提取与描述方面,针对产品设计、工艺三维模型中已定义的测量特征信息,基于特征描述规范和算法通过交互方式在CATIA环境中加以识别与提取;同时,提供基于典型结构特征的公差标注功能。基于三维环境展开检测规划编制,在提升检测规划编制效率与质量的同时,亦有助于实现检测规划与三维检测模型的融合。

## 3 测量数据处理与质量评判技术

研究基于点云数据的检测特征要素的抽取与分析方法;多基准综合协调技术;专用测量数据处理与分析软件系统;MBD环境下产品测量数据,检测结果、检验工艺规程、检测报告与产品模型的关联技术。开发数据处理与分析系统,根据检测规范实现受控点位及其他测量要素的自动抽取和分析;检测数据、检测报告与三维模型的关联;基于轻量化模型的三维可视化检验报告。

据处理与分析系统开发。通过以上研究,最终提升三维数字化检测技术对于质量控制与保证的支持能力。

## 4 数字化快速检测技术应用规范制订

数字化快速检测技术应用规范是对飞机数字化检测过程中相关技术的高度总结,是将理论研究、基础技术研究转化为生产应用的桥梁,是飞机制造企业进行数字化检测实施的指导原则,因此需要针对机加零件、钣金零件、复材零件、部件及大部件装配快速检测的工程应用环境,编制相关技术应用规范,主要包括数字化检测工艺规程编制规范、数字化检测方法选用技术规范、检测数据分析与处理技术规范、数字化检测作业流程规范等。

## 飞机数字化快速检测系统实现关键技术

解决数字化检测问题,实现快速测量的总体技术解决方案如图3所

示。以基于结构特征的零件质量控制方法为理论指导,建立数字化检验规划与程序的快速生成系统;以基于结构特征的检测数据处理方法为理论指导,建立快速数据处理与分析系统;以标准数据格式为基础,建立测量系统的数据采集、传输及与测量装置集成控制的软硬件接口,以此构成支撑数字化快速检测的应用环境。在飞机数字化快速检测系统实现过程中主要涉及以下5项关键技术。

### 1 飞机零件典型检测特征与质量控制方法

从材料、工艺方法、尺寸、检测方法等多个维度对飞机典型零部件的典型结构特征进行分类研究。提炼、梳理、归纳飞机典型零部件典型结构特征,如孔、筋条、弯边、圆角、下陷、平面、型面轮廓等,并结合其加工工艺特点与质量历史经验来确定质量控制要点,制订经济、可行的质量控制策略。建立典型结构特征与典型加工工艺方法的关系模型,在此基础

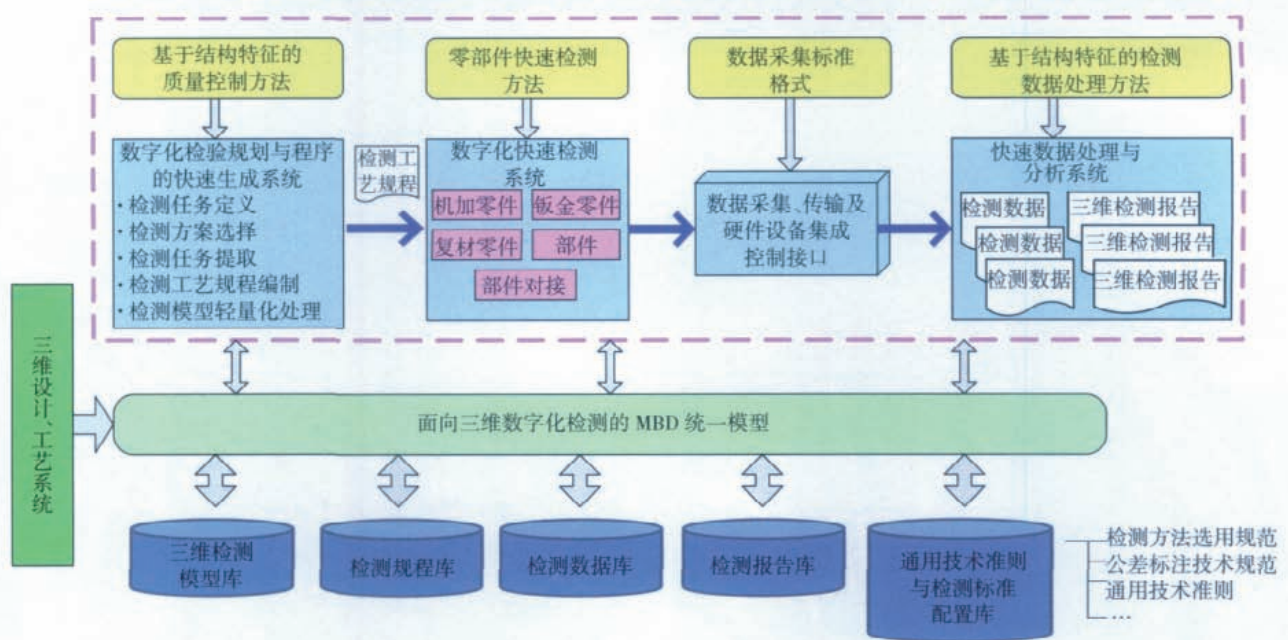


图3 数字化快速检测总体技术解决方案

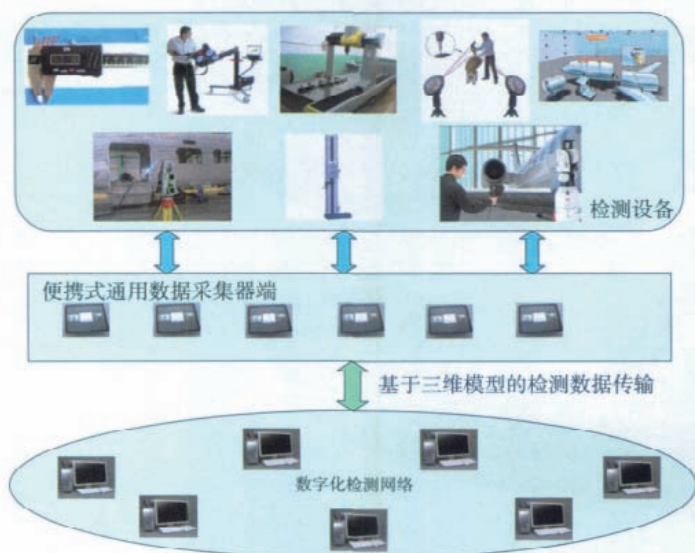


图4 基于通用数据采集器的检测数据采集系统实现技术方案

#### 4 自动化辅助测量装置研制

研究面向快速柔性自动化检测的数控运动机构,以及模块化、可重构的辅助测量装置,实现数控运动机构、辅助测量装置以及机器视觉综合检测系统的有效配置和集成,形成便捷高效的零部件三维数字化综合检测系统。采用模块化、可重构的工件运动机构,并利用工件运动机构与承载测量仪的机器人之间的协调运动完成对工件待测表面的多视角快速自动化测量,以适应飞机批产条件下对测量效率的高

要求。

#### 5 基于通用数据采集器的检测数据采集技术

设计制造通用型数据采集器,将众多的数字化量具标准统一到同一个数字化检测平台,改变采用纸制打印或现场记录检测数据的现有

方式,实现检测数据的自动上传。针对各种通用数显量具进行标准格式的数字化输出能力改造,使量具与采集器能够自动识别并接受测量信息,最终将测量数据上传并与三维模型进行比对和关联,基于通用数据采集器的检测数据采集系统实现技术方案如图4所示。

### 飞机数字化快速检测系统应用模式

飞机数字化快速检测系统与数字化产品定义、数字化工艺设计、生

产现场执行等系统共同支撑飞机数字化制造。数字化产品定义系统为检测系统提供原始模型及尺寸公差;数字化工艺设计系统为测量系统提供零部件加工工艺过程及测量目标,反过来测量系统又为数字化工艺设计系统提供产品及工装检测数据;在生产现场,测量系统利用通用数据采集器与测量设备连接,将测量数据进行实时反馈,实现飞机零部件快速检测,最终形成飞机数字化设计-制造-检验的闭环控制。

### 结束语

飞机结构复杂,零件种类繁多,工艺特点不同,检测手段和方法具有多样性,基于全三维模型的飞机数字化检测技术研究涉及多学科多领域,有很大的技术难度。通过基于全三维模型的飞机数字化检测技术体系的研究与建立,可以提供适合不同生产线应用的快速技术和方法,彻底改变目前传统的零部件检测方式,打通飞机复杂零件与部件数字化设计、制造、检测一体化流程,提升飞机零部件检测效率与水平。

(责编 良辰)