

全数字量传递产品检测技术的研究与应用

Research and Application of Full Digital Transmission Product Detection Technology

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 杨敏洁 王 杨 张守辉

[摘要] 通过对航空企业数字化检测技术应用现状进行调研和分析,提出目前企业数字化检测技术发展和推广过程中的主要瓶颈,在此基础上提出企业全数字量传递产品检测技术研究与应用方案。

关键词: 基于模型定义 数字量传递 检测技术

[ABSTRACT] The development of aviation enterprise digital detection technology application is investigated and analyzed, meanwhile the main bottleneck effects of enterprise digital detection technology development and promotion in the process is put forward. Based on this, the research and application scheme of enterprise full digital transmission product detection technology is presented.

Keywords: MBD Digital transmission Detection technology

目前,我国飞机零部件制造及检测技术仍然大量沿用 20 世纪六七十年代前的传统模拟量传递制造及检测技术,大量采用基于模拟量传递方式的模线样板、标准样件的工作方法,飞机装配及大部件对接采用刚性工装定位手工制孔连接,全部过程由手工操作,劳动强度大、调姿效率低、产品精度低、可靠性差并易出现超差品^[1]。然而,由于现代飞机对轻质、经济、安全、高机动性和长寿命的追求,对飞机的制造及检测精度提出了更高的要求,传统的模拟量产品加工及检测方式,已经不能满足现代飞机发展的需求^[2]。

波音、空客、洛克希德·马丁、罗·罗等公司早在 20 世纪八九十年代就对基于数字化测量设备的产品三维检测与质量控制手段展开了研究,并相继在波音 747、A320、F/A18、F22、F35 等机型的研制上得到了应用,尤其是基于模型定义(MBD)技术在波音 787 上的成功应用,更使得设计制造一体化技术得了进一步发展^[3]。目前欧美国家先进航空制造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,制定了相应的三维检测技术规范,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^[4]。与此同时,以坐标测量机、激光跟踪仪、照相测量等为代表的全三维数字化检

测技术正在取代传统测量技术,在飞机零部件检测中得到越来越普遍的应用,显著提高了飞机制造质量和检测效率。

国内航空制造企业在数字化检验设备与方法应用上虽然已经开始起步追赶工业发达国家,为提升基于模型的产品数字量传递检测能力与水平纷纷下大力气加快了三维数字化检测技术应用的推进:一方面,引进并采用了一批先进的数字化测量技术和测量仪器(如坐标测量机、激光跟踪仪、照相测量系统等);另一方面,一些企业展开了基于三维模型的检验规划、基于三维模型的测量误差分析等方面的工作,初步形成了三维数字化检验的技术应用环境,对于提升零部件检验能力发挥了一定作用。但相对于传统检验模式而言,全数字量传递的数字化检测是一个全新的技术应用领域,在管理模式、运行机制、技术规范等诸多方面,均与基于二维工程图模拟量传递的传统检验模式存在很大差异。因此,全数字量传递产品检测的整体规划、方案制定、体系建立及基础性技术规范建设方面突显其重要作用,这些方面与工业发达国家尚存在很大差距,国内多数航空制造企业目前尚未建立起完备的数字化检验业务管理体系。在业务管理体系以及基础技术规范建设方面的滞后,已经在相当程度上影响了数字化检验技术应用的成效,并成为制约中国航空制造企业加快推进数字化检验技术应用,打通数字化设计制造、检验一体化流程的瓶颈。

随着我国新一代飞机的设计制造不断向数字化进程迈进,大型整体结构件用量的不断增加,对产品的制造精度也提出了更高要求,产品检测难度日趋加大。同时,零件的数控加工、精准成形和飞机快速自动化装配也对数字化检测技术的需求越来越迫切^[5],因此,基于全数字量传递的数字化检测技术已成为未来飞机质量控制的发展方向 and 主体模式。

1 方案研究

1.1 制定企业数字量传递产品检测目标

航空制造企业的特点是产品外形气动要求严格,内部结构复杂,涉及专业面广,设计更改频繁,零部件数量多且零件材料和形状各异,各系统间协调复杂程度高。

低成本、轻质、高机动性、高寿命、高质量成为现代飞机研制的重要指标^[3]。基于此类产品特点、组织结构及未来发展趋势,需从企业顶层规划入手,构建公司统一数字化检测管理平台,建立并逐渐完善数字化检测管理和技术体系,分专业、分阶段制定并实施全数字量传递产品检测技术研究与应用工作,以此推动全数字量传递产品检测技术在企业内部有序开展。

1.2 方案构思

航空工业企业在信息化管理方面基本实现了设计文件、工艺规划、技术文件的电子化编制及网络管理功能,在工程应用方面常见的管理系统主要有 LCA 系统、PDM 系统、DEMIA 系统、MES 系统、MBPP 系统和质量管理信息系统等,在数字化制造研究方面基本实现了机械加工、钣金加工、复合材料制造、部件装配和机身对接过程中数字化制造路径的打通。个别企业有部分数字化制造技术应用于批产过程中,但数字化检测技术研究与应用,还处于刚刚起步和方案策划阶段。

基于企业现有数字化设计、制造水平及信息化管理现状,从企业数字化检测技术长远发展和应用的战略方针考虑,策划全数字量传递产品检测总体构思,必须考虑 4 个方面的相互协调问题。一是要成立项目统筹的管理机构,必须从顶至下地进行项目总体策划并按阶段性发展目标进行项目的统筹实施;二是要构建企业信息化与数字化相互融合的管理平台,航空企业的结构特点及信息化发展现状决定其要想全面实施数字量检测技术,必须依托信息化这个管理平台进行数据的采集、传递、分析和应用等,企业数字化检测技术和信息化管理流程是相互依托、相互融合的,要进行统筹考虑并策划实施;三是要规划全数字量传递检测的工作流程,企业的行为规范必须依托制度体系文件和操作流程为导向,数字化检测工作的实施,不仅限于个别产品或个别专业,而是要统筹考虑型号和专业的应用范围和实施规划,要受操作流程和规范要求约束,这也是企业标准化、规范化、精细化和严格化管理的基本要求;四是在相关专业开展研究试点的基础上,摸索数字化检测技术、方法和经验,逐步制定和完善相关标准、规范,为后续的应用和推广奠定基础。上述 4 个方面相互支撑,统筹协调,促进数字化设计-制造-检测链路螺旋式上升,形成协同发展趋势,如图 1 所示。

1.3 全数字量传递产品检测技术研究与应用整体实施方案

航空制造企业的生产和检测是以信息化制造数据的传递流程及操作规范为依据,以生产计划派工指令为顺序实施的,因此制定全数字量传递产品检测技术研究与应用整体实施方案,首先要清楚企业的数字量传递流程

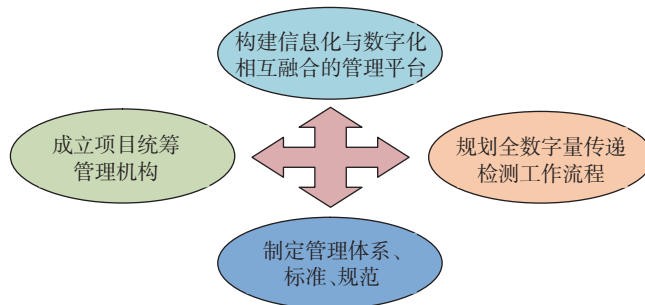


图1 全数字量传递产品检测总体构思
Fig.1 Total conception of full digital transmission product detection technology

以及相互集成的各系统之间的数据关联关系,并在此基础上,提出检验计划的编制管理平台需求,明确该平台与其他系统的关联关系、数据流程、操作流程和相关的管理要求,如图 2 所示。

1.4 型号应用

数字化检测技术在型号上的应用,应从型号研制的设计并行阶段入手,进行检验计划编制、数字化检测设备能力及需求计划、检测方法、人员培训等方面的统筹考虑,根据型号研制进展分阶段进行实施。

- 型号研制阶段: 参与工艺、设计协同工作,规划全数字量产品检测总体方案;
- 工艺准备前期: 根据计划分工提取关重检测点,制定检验规划编制数量,提出数字化检测设备需求;
- 工艺准备阶段: 编制检验计划,生成测量程序并对其进行模拟验证;
- 产品实现阶段: 采用数字量传递方式及数字化检测设备对产品进行现场检测,生成检测报告,并传递给企业 MES 管理系统;
- 数据统计阶段: 按型号、架次、生产单位等对统计的数据进行全面分析和评估,亦可酌情反馈给制造系统进行工艺方法的改进,具体流程详见图 3。

1.5 全数字量传递产品检测实施流程

全数字量传递产品检测,即通过精确的数字量传递零部件之间的形状与尺寸,采用三维建模技术数字化定义和数控技术数字化制造所有产品与工装,并采用接触式或非接触式等数字测量系统,来辅助安装和检测产品。这种以数字量为基础的计算机辅助设计-制造和测量装配一体化体系,有效减少了形状与尺寸的传递转换环节和工装数量,缩短了生产周期,并提高了产品的精度和质量^[6]。

航空领域的全数字量传递产品数字化检测工作从 EBOM-PBOM-MBOM 的重构开始,工艺人员在工艺环境则进行基于 MBD 的工艺设计,检验技术人员利用检验计划编制与管理平台系统进行基于 MBD 的检验计划

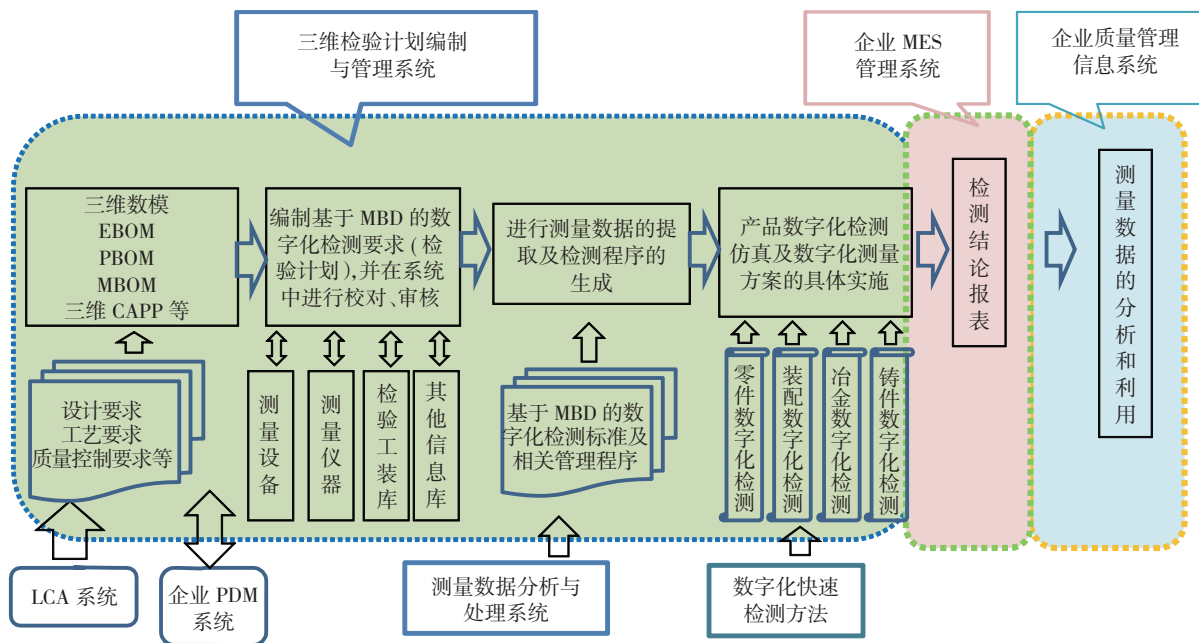


图2 全数字量传递产品检测技术研究与应用整体方案

Fig.2 Whole scheme for research and application of full digital transmission product detection technology

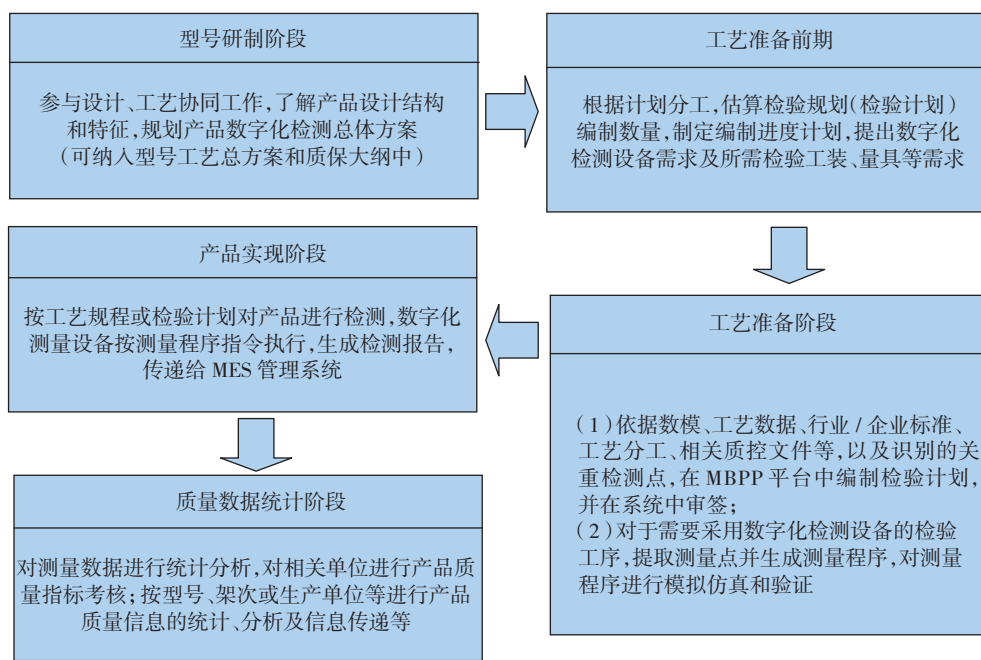


图3 数字化检测工作在型号研制过程中的工作流程

Fig.3 Digital detection work in process of model development

编制,在系统内进行数字化测量路径的仿真验证和测量程序的自动提取(此过程由软件工具支持实现),生产现场按形成的检验计划及测量程序对产品进行检测,输出检测报告并可将相关信息及时反馈给MES管理系统(亦可根据情节反馈给工艺人员用于工艺方案的改进),再利用检验管理信息系统集成产品质量数据对数据结果进行统计、分析和应用。全数字量传递产品检测具体实施流程如图4所示。

分析数字化检验业务与现行质量管理体系相关管理流程的衔接机制,构建数字化检验与质量管理体系的融合框架(如传统的产品制造记录与数字化检测设备提取的测量表的相互融合等);通过制定数字化检验业务无纸化运行与管理的机制,建立基于电子化介质与载体的检验业务工作程序以及数字化检验技术资料(检验数模、检验计划、测量程序、检验报告、测量数据等)的流转、审

2 体系的建立

2.1 基于 MBD 三维数字化检验技术管理体系的研究与构建

由于传统的基于模拟量产品检验模式已经运行了几十年,其管理体系已经运行稳定并且符合企标、航标及国军标等标准的要求,并经过历次二、三方体系审核而日趋完善。基于 MBD 三维数字化检测技术管理体系的研究与构建,首先要对比、剖析数字化检验业务在运行模式上与传统检验模式的差异,总结、梳理、提炼数字化检验业务管理的关键要素、核心要点与风险防范机制;其次研究与分

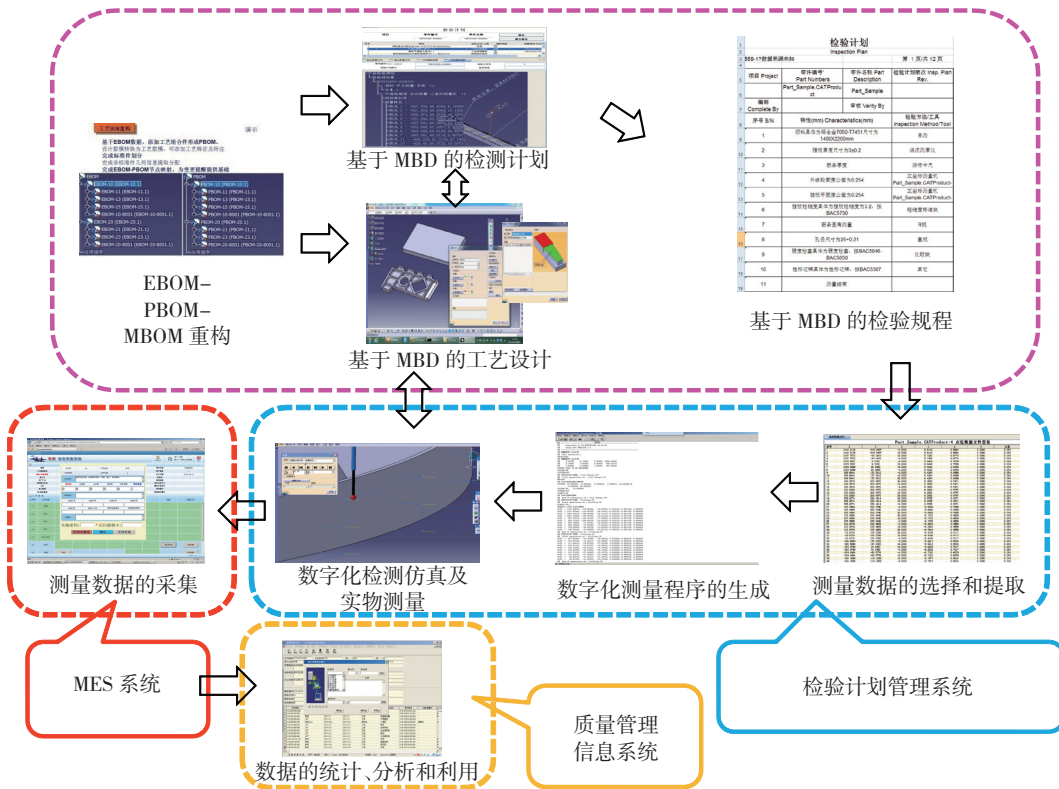


图4 数字化检测工作流程的具体实施示例
Fig.4 Examples of digital detection process

批、发放与归档管理模式。在上述管理体系构建过程中,应充分考虑其与企业相关业务管理系统(如 CAPP/PDM/MES/CAQ/MBPP 等)的集成问题,形成建立适用于航空领域内基于 MBD 三维数字化检验技术管理体系与数字化制造体系相融合的运行框架。

基于 MBD 三维数字化检测技术管理体系的研究与构建,既要符合企业全数字化传递制造、检测发展趋势,也不能脱离相关企业、行业、国军标等标准的框架,因此数字化检测标准、体系的建立既是企业开展数字化检测技术研究与应用工作的基础,又是工作中的难点和重点。

2.2 基于模型的三维数字化检测基础规范库研究与构建

基础规范库是实现航空产品结构特性与数字化检测相关软硬件功能有机融合的关键因素,是实现数字化检测向标准化、规范化发展的有效支撑之一,因此在全数字量传递产品检测技术的研究与应用初期,就需考虑数字化检验基础规范库的构建,主要包括以下方面:

- 基于数字化检验视角,对产品典型结构特征进行提炼、梳理与归纳,建立面向三维数字化检测需求的零、组、部件典型检验结构特征谱系目录框架;
- 基于模型的典型检验结构特征,结合产品加工工艺特点与质量历史经验,梳理典型结构特征的质量控制要点,建立质量控制要点库;

- 基于零、组、部件典型检验结构特征的常规检测项目,建立检验结构特征与检验项目关联库;

- 梳理与产品数字化检验相关的公差标准,并将其结构化,建立典型结构特征公差选用标准规则库;

- 梳理典型结构产品数字化检验的测点选择与部署规则,建立基于典型检验结构特征的测点规划规则库;

- 梳理产品数字化检验坐标系构建的规则,建立坐标系构建规则库;

- 系统归纳梳理零、组、部件检测过程中常用数字化测量设备的参数信息与应用特点,建立数字化测量设备选用规则库;

- 在上述研究工作的基础上,开发产品数字化检验基础规则库管理系统,提供对规则的快捷查询与检索功能。

3 实施现状及具体应用案例

按照航空企业对基于全数字量传递产品检测技术需求,制定了检验计划编制及管理平台开发方案并按计划组织实施;同时针对航空产品的产品检测特征、量具种类、布点方式及测头种类进行了梳理与归纳,形成了适用于航空产品全数字量传递产品检测的基础资源知识库框架;另外,为有针对性地开展全数字量传递产品技术研究与应用工作,对机加、复合材料、铸件、飞机蒙皮表面质量等方向的数字化检测方案及相关检测设备进行了试点研究。在数字化检测管理体系建立方面,一是规范航空产品数字化环境下的检测及数字化检测设备使用相关要求,为数字化检测操作人员提供技术参考与指导,使数字化检测各个环节(人员资质、培训、数字化设备的管理及校准等)更加规范;二是编制了数字化检测相关企业标准,为生产现场检测提供指导依据。目前已开展的数字化检测技术研究与应用案例详见图 5~10。这些研究作为航空领域基于全数字量传递产

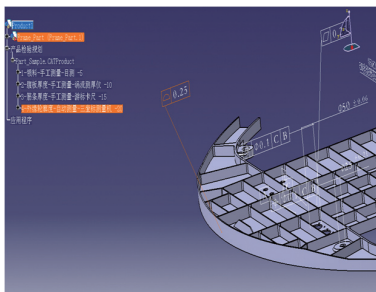


图5 机加零件的三维检验计划编制

Fig.5 Three-dimensional inspection planning of machining parts

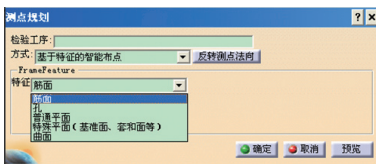


图6 产品典型特征库的构建

Fig.6 Construction of typical product feature library

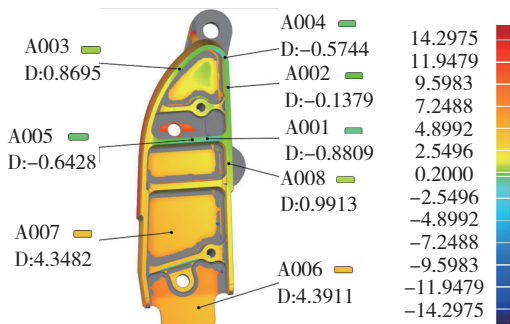


图7 典型铸件扫描点云与理论数模比对后对铸件缺陷的判断

Fig.7 Casting defect judgment after comparing between casting scanning point cloud and theoretical model

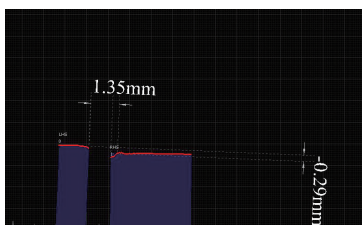


图8 利用激光间隙测量系统测量的产品外表面间隙、阶差值

Fig.8 Surface gap and gradient value of products by using laser clearance measurement system

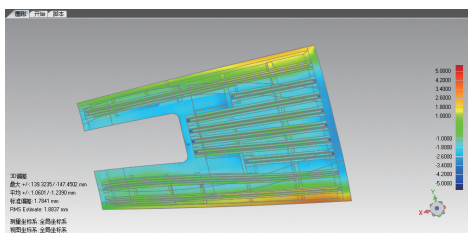


图9 利用照相和扫描设备对民航复合材料进行快速检测的拟合结果

Fig.9 Fitting result of fast detection for civil aircraft composites by using camera and scanning equipment

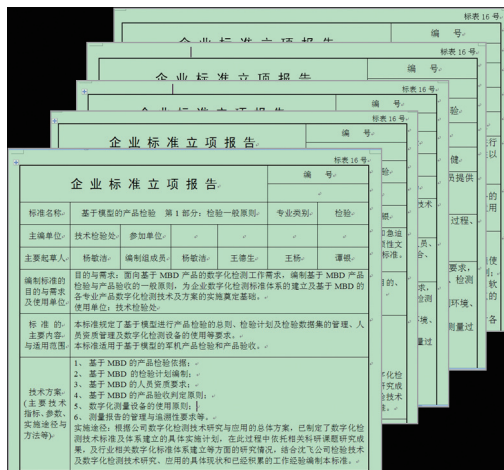


图10 已立项并正在编制的企业标准

Fig.10 Established and in preparation of enterprise standards

品检测技术的研究与应用提供了一定的思路及铺垫作用。

4 结束语

随着国内企业数字化设计、数字化制造的普及和深入发展,数字化检测能力的短缺已影响到了数字化设计、制造的进一步发展,全数字量传递产品检测技术的研究与应用,是促进企业数字化检测工作发展的基石。本文对基于数字量传递的检测技术在航空企业内的研究进行了综合论述,提出了企业全数字量传递产品检测技术研究与应用总体方案,并进行了试点实施。此项工作是适应航空企业技术进步发展的必经之路,对新机研制具有重要指导意义,同时也是航空企业产品检测技术发展的必然趋势。技术的革新和进步必然会带来管理的革新和进步,面对新形势、新挑战,质量管理转型升级迫在眉睫。随着数字化检测技术研究与应用深入推进,人员管理、设备管理、工作流程、管理模式等会有一系列的变化,数字化检测技术发展的成熟度和应用需求将是企业质量管理体系未来定位的重要依据。

参考文献

- [1] 雷宝,王永红. 飞机部件外形三维数字摄影测量技术. 航空制造技术,2013(7):42-45.
- [2] 朱永国. 飞机大部件自动对接若干关键技术研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学,2011.
- [3] 范玉青,梅中义,陶剑. 大型飞机数字化制造工程. 北京: 航空工业出版社,2011:1,197-200.
- [4] 冯子明. 基于三维模型的飞机数字化快速检测技术研究. 航空制造技术,2011(21):32-35.
- [5] 屈力刚,武大伟,杨野光. 基于三维信息模型的飞机复杂零部件快速检测技术. 航空制造技术,2011(21):69-71.
- [6] 周秋忠,范玉青. 基于数字标号模型的飞机数字化协调方法. 计算机集成制造系统,2008,14(4):683-689. (责编 小城)