

基于 MBD 的航空产品首件检验关键技术研究

Research on Key Technology of MBD-Based Aviation First Article Inspection

北京航空航天大学机械工程与自动化学院 杜福洲 梁海澄

[摘要] 提出了基于 MBD 的航空产品首件检验方法,以实现三维数字化产品检验,在分析 MBD 技术应用体系的基础上,对航空首件检验标准进行研究,给出了在 MBD 环境下实现首件检验的关键技术,以探讨实现首件检验过程信息化、数字化的难点和关键点,为基于 MBD 的航空产品首件检验系统的开发与实施提供了技术支撑和方法指导。

关键词: 首件检验 基于模型定义 检验规划

[ABSTRACT] The MBD-based aviation first article inspection method is put forward, in order to achieve three-dimensional digital inspection. Based on the analysis of MBD technical application system, the aviation first article inspection standard is studied, key technologies of first article inspection in the MBD environment are pointed out, the difficulties and key points in the informatization and digitization of first article inspection process are investigated, technique supports and guides for the implementation of MBD-based aviation first article inspection system are provided.

Keywords: First article inspection Model-based definition Inspection planning

当前,在航空制造业领域,数字化设计与制造技术得到了广泛的应用。同时,在计算机技术发展的基础上,传统的以模拟量传递为主的协调工作法逐步向全数字量传递转变。

国外先进航空企业的成功经验证明 MBD (Model Based Definition, 基于模型的定义) 制造模式是数字化制造的成功实践,并已制定了相应的标准规范。如波音公司对参与 787 研制的全球合作伙伴,采用 MBD 模型作为整个飞机制造过程的唯一依据^[1]。但是,当前我国航空企业数字化制造技术发展与国外相比仍有较大差距,主要体现在对于 MBD 技术的应用上,我国还处在探索阶段,没有形成以 MBD 为核心的制造模式,采用三维模型和二维图纸相结合的生产制造模式等^[2-3]。因此,

如何实现真正的无图化、无纸化的三维数字化制造、装配与检验,将成为国内航空制造业今后发展的一个趋势。

目前国内航空领域的产品首件检验,大多仍以二维图纸作为检验依据,造成工作效率低、管理不便和存在二义性等问题。本研究在企业调研及国内外相关研究的基础上,研究了在 MBD 环境下航空产品实现首件检验的相关理论,探讨了航空产品首件检验系统实现的关键技术。

1 基于 MBD 的技术应用体系

MBD 是用集成的三维实体模型来完整地表达产品定义信息的技术标准^[2]。MBD 技术的应用使产品设计、制造和管理的方式发生了根本变化,产品生命周期管理围绕基于 MBD 规范的三维数模进行,基于 MBD 的技术应用体系如图 1 所示。在该技术体系中,基于 MBD 的数据定义是整个技术体系的基础,遵循 MBD 技术规范,可以建立起包含完整产品信息的三维模型。以三维模型为依据,工艺人员可以对进行产品测量规划及首件检验表单的设计。根据当前模型轻量化的理论,使用轻量化的模型视图可以给生产现场的加工、检验过程提供直

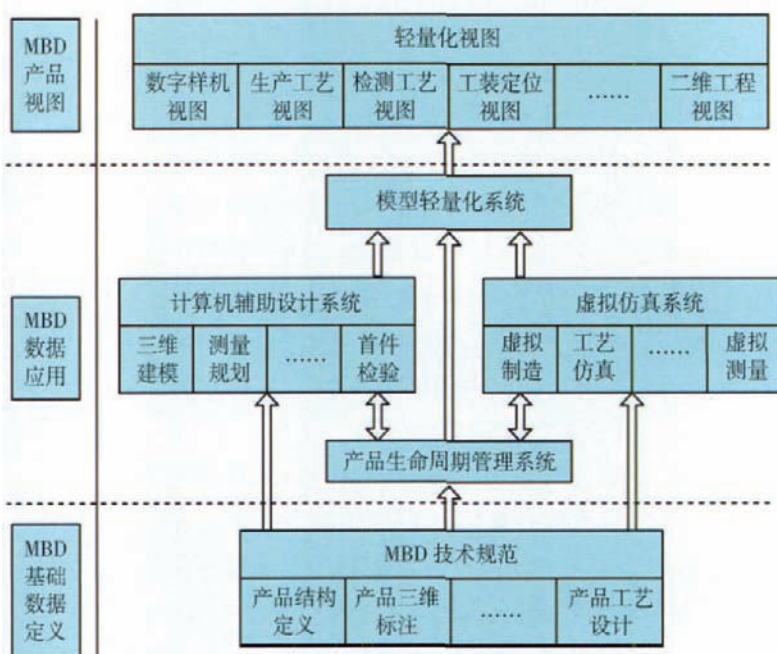


图1 基于MBD的技术应用体系

Fig.1 MBD-based technical application system

观的依据。

2 航空产品首件检验要求

根据 HB9102 标准定义,首件检验是一个完整的、独立的并文件化的物理的和功能的检验过程,用以验证规定的生产方法可生产出工程图样、工艺文件、采购订单、工程规范和其他适用的设计文件所规定的合格产品。首件检验的目的是给出客观的证据,证明所有工程、设计和规范要求被正确理解、说明、验证和记录^[4]。首件检验能够防止出现成批不合格品,首件检验能防止出现成批不合格品,是确保航空产品质量的一种重要方法^[5]。

首件检验应用于产品生产过程中的每道工序,当现行的技术状态与先前批准的技术状态相比有所改变时,则需要对改变的部分重新进行首件检验。产品首件检验的一般流程如图 2 所示。

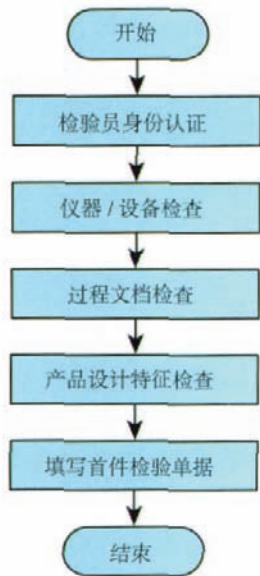


图2 首件检验的一般流程
Fig.2 General flow of first article inspection

其中产品设计特性是指用于描述和构成产品设计的尺寸、外观、功能、机械以及材料的性能和特性^[4]。例如,产品公差与标注信息属于尺寸特性,热处理温度、顺序要求则属于材料特性。首件检验单据,即首件检验报告,现行标准将首件检验报告分为 3 张表格,分别是零部件编号检查表、产品核查表、特性核查表。

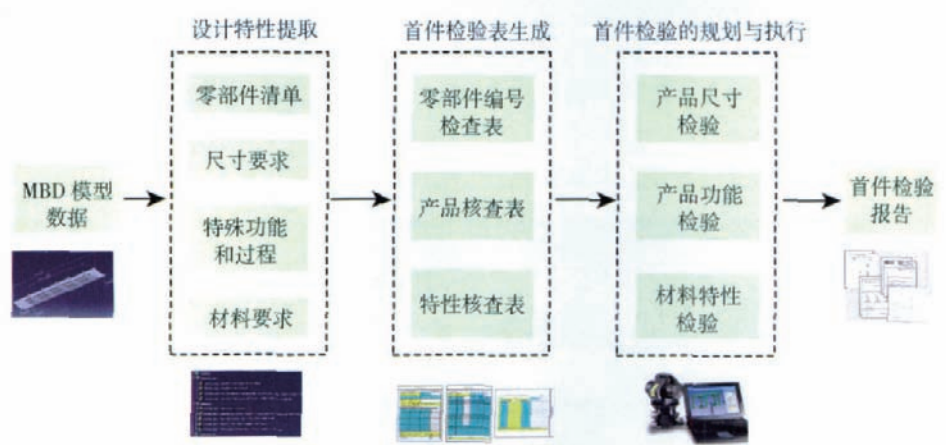


图3 基于MBD的首件检验过程模型
Fig.3 MBD-based first article inspection progress model

现行标准并没有对首件检验的具体执行流程做规定,根据实际情况,各个企业的首件检验流程有所差异。

3 关键技术研究

基于 MBD 的首件检验过程,必须以 MBD 模型作为首件检验的数据规范。基于 MBD 的首件检验过程模型如图 3 所示。首先从 MBD 模型中提取产品设计特性,包括零部件清单、尺寸要求、材料要求等。其次,根据首件检验标准生成未包含检验结果的首件检验检查表。最后,执行首件检验,填写检验记录,形成检验报告。

基于上述过程模型,提出基于 MBD 的航空产品首件检验关键技术,包括产品设计特性的提取、首件检验表的自动生成和首件检验表单的设计与执行。

3.1 产品设计特性的提取

在 MBD 的制造模式下,产品设计特性均在三维数模中定义。根据北京航空航天大学范玉青等人的研究^[3],MBD 模型包括 MBD 装配模型、MBD 零件模型和设计模型。如图 4 所示是产品设计特性提取示意图,其中装配模型由零件模型组成,可从中提取产品零部件清单。零件模型由设计模型、三维标注信息及材料功能特性信息组成,可从中提取产品尺寸特性、功能及材料特性清单。设计模型表达了产品的外观需求。

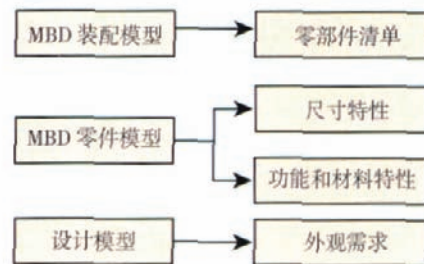


图4 产品设计特征提取示意图
Fig.4 Product design characteristics extraction

从 MBD 模型中提取的首件检验信息属于工艺信息,一般在产品工程数据集中定义^[6]。在 CATIA 环境下,使用用户交互的方式拾取特征树中的三维标注,并添加到自定义特征树中,可实现对产品信息分类提取及显示。CATIA 中三维标注信息的提取如图 5 所示。

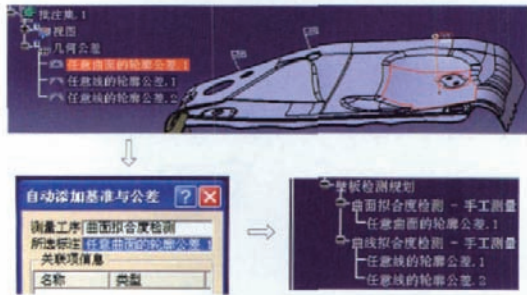


图5 CATIA中的三维标注信息的提取
Fig.5 Extraction of 3D annotation in CATIA

3.2 首件检验表的自动生成

如果采用手工编写首件检验检查表,不仅效率低,而且不便于数据采集及管理。在 MBD 环境下,由于 MBD 模型中包含完整的产品设计信息,这为首件检验表格的自动生成提供了数据支持。

按照航空产品首件检验标准要求,首件检验报告包括记录首件检验结果的 3 张表格,分别是零部件编号检查表、产品核查表和特性核查表。零部件编号检查表用于识别进行首件检验的零部件以及相关的组件或零件。产品核查表用于记录设计要求的材料、特殊过程或功能试验。特性核查表用于记录设计要求的產品外形、尺寸特性^[4],零部件编号检验表的信息模型如图 6 所示。

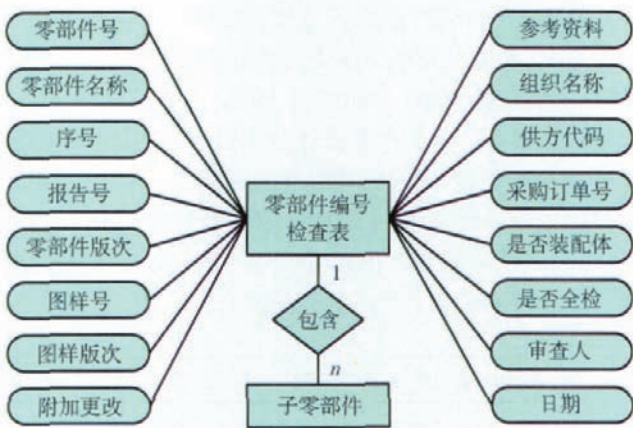


图6 零部件编号检查表信息模型
Fig.6 E-R model of part number accountability form

基于上述信息模型,根据 MBD 技术规范,将模型中的信息项定义到 MBD 模型中,并在生成首件检验表时调用,分析 MBD 装配模型,生成零部件清单,如图 7 所示。

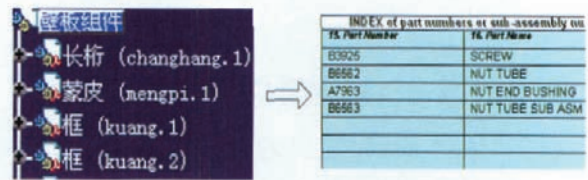


图7 零部件清单提取
Fig.7 Extraction of part bill

同理,如图 8 所示是某型飞机零部件^[7]的产品核查表提取,如图 9 所示是飞机壁板样件的特性核查表提取。

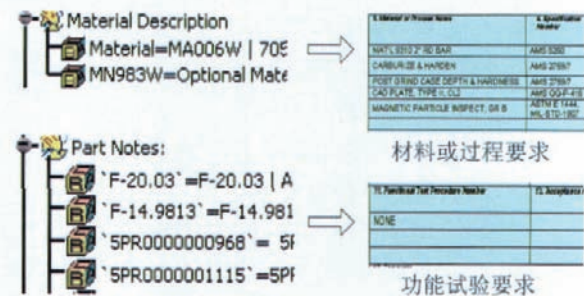


图8 产品核查表信息提取
Fig.8 Information extraction of product accountability form

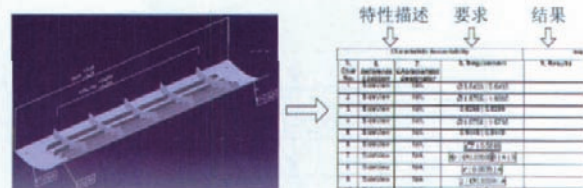


图9 特性核查表信息提取
Fig.9 Information extraction of characteristic accountability form

3.3 首件检验表单的设计与执行

首件检验表单的设计与首件检验的执行是 2 个相互独立的过程。首件检验表单的设计属于产品设计阶段,主要完成设计特性的提取和检验表的生成,而首件检验的执行是在产品加工、装配阶段。因此,基于 MBD 的首件检验系统应该分为 2 个部分,即首件检验设计系统和首件检验信息管理系统,如图 10 所示。设计人员使用首件检验信息管理系统进行 MBD 模型管理,并使用首件检验设计系统基于 MBD 模型进行首件检验规划设计,生成首件检验信息中间文件,然后上传至信息管理系统。首件检验信息中间文件基于 XML 设计,集成了首件检验设计系统的输出信息,包括首件检验表单信息、首件检验流程信息、产品设计特性信息等。信息管理系统通过解析中间文件生成检验流程并输出检验报告,从而实现 2 个系统的数据集成。信息管理系统维护产品设计模型及其首件检验信息的关联性和一致性,同

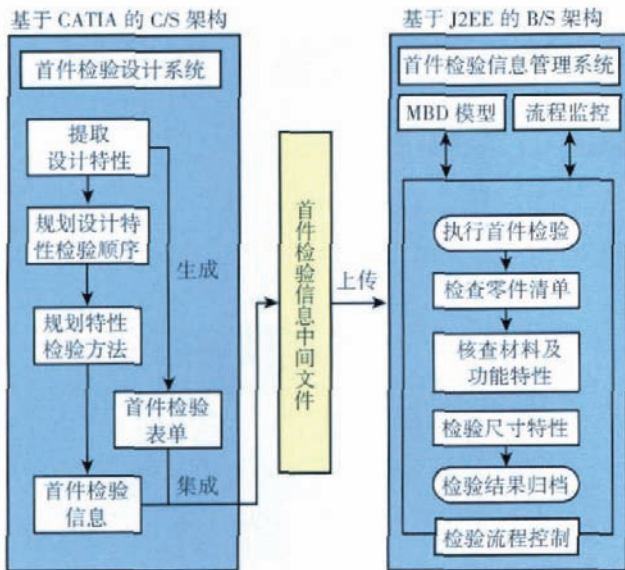


图10 首件检验表单的设计与执行

Fig.10 Design and execution of first article inspection form

时提供对首件检验流程的监控。检验工人登陆信息管理系统开启或继续首件检验流程,依次检验产品的零部件清单及其他设计特性。设计人员可以在信息管理系统中监控产品首件检验的流程,分析检验结果。

4 结论

基于 MBD 的首件检验对航空制造业实现全数字化设计、加工与装配具有重要意义,本研究在分析 MBD 技术应用体系的基础上,对航空首件检验标准进行了研究,总结了在 MBD 环境下实现首件检验的关键技术,并论述了各关键技术的实现方案,为基于 MBD 的航空产品首件检验系统的开发与实施提供了技术支撑和方法指导。

参考文献

- [1] 张魁, 范玉青, 卢鹤, 等. 基于 MBD 制造体系的装配工艺数据集成. 机械工程师, 2009(1): 55-58.
- [2] 余志强, 陈嵩, 孙伟, 等. 基于 MBD 的三维数模在飞机制造过程中的应用. 航空制造技术, 2009(25): 82-85.
- [3] 周秋忠, 范玉青. MBD 技术在飞机制造中的应用. 航空维修与工程, 2008(3): 55-57.
- [4] HB 9102-2008, 航空产品首件检验要求. 北京: 国防科学技术工业委员会, 2008.
- [5] 李新光. 浅谈军工产品生产过程中的首件检验. 航空标准化与质量, 2003(2): 37-38.
- [6] 卢鹤, 范玉青. 飞机结构产品的数字化定义. 北京航空航天大学学报, 2006, 5: 526-530.
- [7] Ralph G. FAI Training for Global Partners. The Boeing Company, 2007.

(责编 小城)

(上接第 48 页)

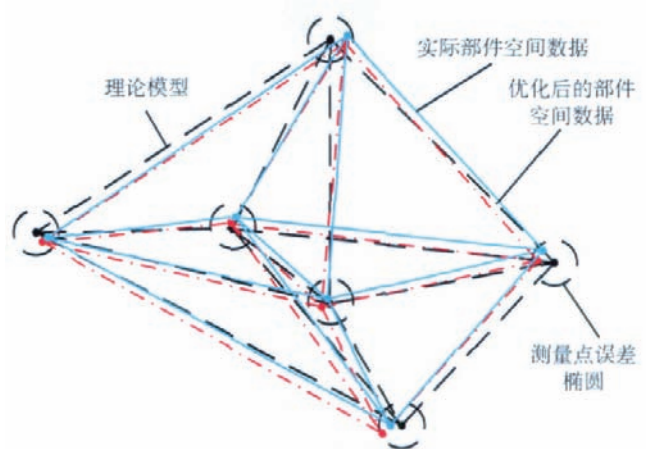


图5 模型配准算法原理

Fig.5 Basic principle of model registration algorithm

从整个飞机数字化装配平台的角度而言,数字化测量系统仍然需要进一步完善。整个数字化装配平台主要包括:面向制造的数字化模型及辅助支持环境、数字化测量系统、数字化柔性装配工装设备及其控制系统、开放的通信架构。面向制造的数字化模型及辅助支持环境是装配实施及质量保证的基础依据;数字化测量系统提供装配所需的现场空间信息并能够对装配质量进行检测分析;数字化柔性装配工装设备及其控制系统实现飞机零部件的合理高精度装配;开放的通信系统确保所有环节间数据流的无缝集成和便捷访问。在完善其中各个环节基础上,如何将数字化测量系统与其他各个环节有效融合,形成统一整体,是下一步数字化测量系统研究的重要方向。

参考文献

- [1] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001:22-36.
- [2] 邹翼华. 飞机数字化测量辅助装配技术及应用. 航空制造技术, 2009(24):48-52.
- [3] 张春富, 张军, 许文海, 等. 激光跟踪仪现场测量不确定度的评定. 计量学报, 2005(26):20-22.
- [4] ARC Second, Inc. Product Literature, Company Web Site URL: <http://www.arcsecond.com>, 2003.5.
- [5] Kang S, Tesar D. A noble 6-DOF measurement tool with indoor GPS for metrology and calibration of modular reconfigurable robots, Istanbul, Turkey, IEEE ICM International Conference on Mechatronics, 2004.
- [6] 许国康. 大型飞机自动化装配技术. 航空学报, 2008(3):737-738.
- [7] 吴晓峰, 张国雄. 室内 GPS 测量系统及其在飞机装配中的应用. 航空精密制造技术, 2006,42(5):1-5.
- [8] 李清泉, 李必军, 陈静. 激光雷达测量技术及其应用研究. 武汉测绘科技大学学报, 2000,25(5):387-392.

(责编 小城)