

大飞机数字化装配关键技术及其应用*

宋利康¹,朱永国^{1,2},刘春锋¹,曾天¹

(1. 中航工业江西洪都航空工业集团有限责任公司,南昌 330024;

2. 南昌航空大学航空制造工程学院,南昌 330063)

[摘要] 为满足大型飞机的数字化研制需求,对大型飞机数字化装配的主要关键技术进行了研究。对面向MBD的装配工艺仿真与数字化协调、装配仿真优化与在线装配仿真、三维装配工艺数据可视化、板件数字化自动钻铆的配套技术等大飞机数字化装配技术及其工程应用进行了重点分析,提出了各关键技术的解决方案。

关键词: 飞机;装配;铆接;MBD;仿真

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.05.032



宋利康

工学博士,研究员级高工,中航工业江西洪都航空工业集团有限责任公司副总工程师,中国航空工业集团公司特级专家,从事飞机研制数字化技术研究。

飞机装配技术发展经历了手工装配、半自动装配、自动装配和数字化装配等几个发展阶段。目前,数字化装配技术已在全球兴起,已在包括我国在内的多个国家得到初步应用,取得了一定的成效。数字化装配技术不仅包括装配仿真、数字化工艺制定、数字化柔性工装等,而且是数字化自动钻铆和集成控制等多种技术的综合应用。数字化装配技术将模拟量传递变革为数字量传递^[1]。20世纪80年代开始,国外先进航空制造企业初步将数字化装配技术运用于飞机制造中。美国EI公司将机器人自动钻削系统用于波音F/A-18E/F的机翼后缘襟翼的制孔和铤窝。德国宝捷公司研发了用于飞机货舱门制孔的机器人装配系统。空客将电磁铆接和柔性装配工装进行集成,实现了翼梁大型构件的自动化铆接装配^[2]。航空航天产品制造逐步采用基于模型的定义(Model-Based Definition, MBD)技术进行数字化设计与建模^[3],利用MBD技术将工艺、

工装、检测、质量等信息集成到产品的三维实体模型中,并将该三维实体模型作为生产、制造、检验等的唯一数据源,在不同的部门之间进行共享和共用^[4-6]。数字化装配技术对飞机装配效率、装配质量的提高作用已日益凸显出来,并驱动研究机构对其进行更广泛的研究和更深入的应用。大飞机具有尺寸大、零件数量多、装配精度高、协调过程复杂、装配周期长等特点。当前,我国大飞机的研制已取得阶段性的进展(C919大型客机首架机正式下线),但数字化装配水平仍有待提高,为保证大飞机装配精度,提高装配效率,缩短制造周期,在后续设计定型、批产过程中,数字化装配技术应用还需加强和完善^[7]。为此,针对大飞机研制需要,本文从面向MBD的数字化装配工艺设计、数字化装配过程仿真、三维装配工艺数据的现场应用和板件数字化自动钻铆方面,研究大飞机研制中亟待解决的数字化装配技术,并提出关键技术的解决方案和应用方法。

* 基金项目:国家自然科学基金项目(51565042);江西省科技支撑计划(20133BBE50022,20143ACE50008);江西省自然科学基金项目(20142BAB206023);江西省博士后科研项目(2015KY03);南昌市科技支撑计划(2014HZZ004)。

面向 MBD 的数字化装配工艺设计方法

采用 MBD 技术后,装配工艺设计的数据源发生了根本性的变化,工艺人员直接依据 MBD 模型开展三维工艺设计,工艺设计方式方法与传统工艺设计存在本质差异^[8]。

1 MBD 装配工艺模型构建方法

飞机装配过程中存在大量的零件、组件和部件等装配件,需要明确装配件的交付技术状态,工艺规划也会产生众多指导详细工艺设计的指令性信息和制造技术要求。采用 MBD 技术后,这些信息都将以 MBD 形式表达在三维数字化模型中,形成装配工艺模型,用以指导工装、工艺设计,并作为生产控制与管理的技术依据。此外,也将作为生产单位之间零部件交接时的唯一技术依据。装配工艺模型是在产品设计部门发放 MBD 设计数模后,由工艺设计部门经过工艺路线分工、工艺分离面划分、生成指令性装配顺序、零组件主要工序安排、确定定位计划和协调方法等步骤,并在提出产品零部件最终交付状态和完工状态的基础上建立起来的。MBD 工艺模型构建流程如图 1 所示。

2 面向 MBD 的装配工艺仿真

飞机装配仿真是在 MBD 模型的基础上,利用 Delmia 等数字化装配仿真系统建立装配资源模型,搭建装配环境,引入人机工程。如图 2、图 3 所示在虚拟环境下对装配过程、装配工艺进行可视化、数字化的仿真,分析和评价装配工艺,评估装配现场的人机工程现状。

3 面向 MBD 的数字化协调技术

目前常用的互换协调方法是数字量传递协调法和模拟量与数字量相结合的混合协调法。数字量传递协调方法是利用 MBD 建模、数字化工装设计、零部件数控加工与测量、数字化测量装配等技术实现数字化

协调要求。在装配协调方案的制定过程中,需要确定协调结构、标准工装类型、标准工装之间的协调关系、标准工装与其余工装之间的协调关系图表等。图 4 所示为面向 MBD 的数字化协调方法。

为了保证数字化协调要素之间的协调要求,需要由集成产品开发团队(Integrated Product Team, IPT)在设计阶段提出协调要素的交付要求,以保证部段、零组件之间的协调关系。对于交点类协调, IPT 需提出部

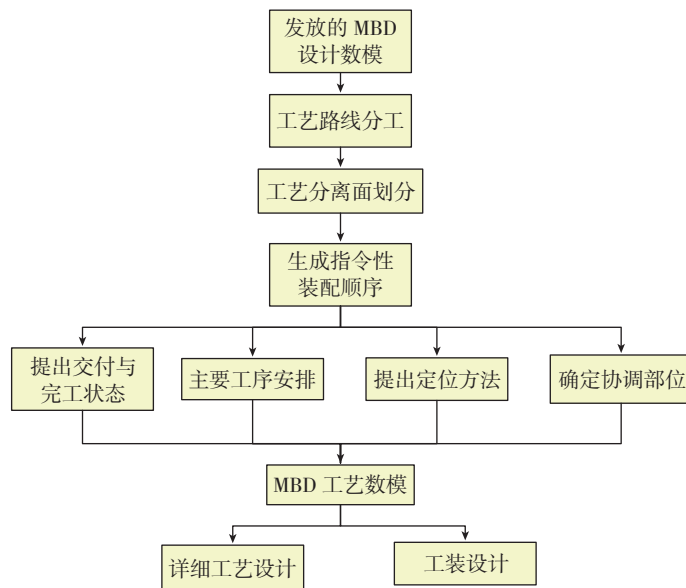


图1 MBD工艺模型构建流程

Fig.1 Constructing procedure of MBD process model

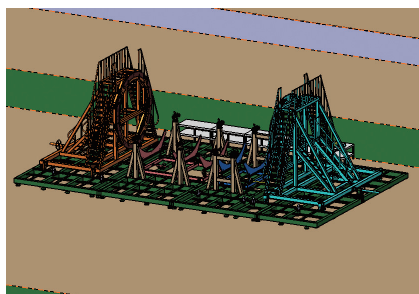


图2 前段客舱地板骨架资源模型
Fig.2 Resource model of anterior segment cabin floor skeleton

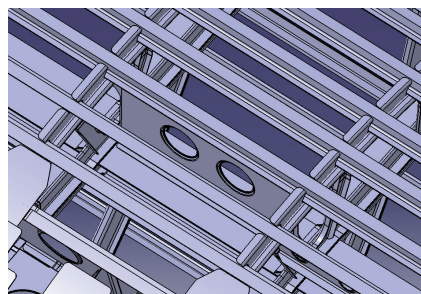


图3 纵向隔板无通路仿真示意图
Fig.3 Schematic simulation diagram of vertical separated boards with no-pathway

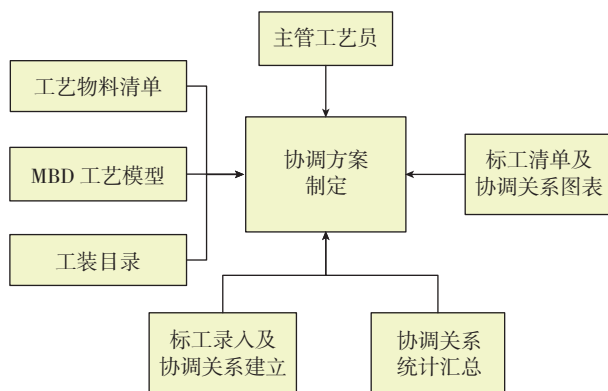


图4 面向MBD的数字化协调方法

Fig.4 Digital coordination method oriented to MBD

段交点交付要求,包括基准孔轴线位置、协调交点孔径、协调端面等,并给出测量容差等要求。对于零组件制造,需提出尺寸、形位公差及容差等要求,装配工装的定位特征以及工装检查等要求。对于钣金件及外形类机加件,需提出外形轮廓度、钣金件制造工装的定位特征和钣金件装配特征容差等要求,同时要给出装配工装的定位特征,钣金件装配工装的检查容差及测量要求。

数字化装配过程仿真

装配过程仿真是在数字化三维虚拟空间内,融入知识工程,对装配件、工装、工艺过程用数字化模型表示的全部行为^[9]。针对大飞机装配过程复杂的特点,进行装配过程建模、装配过程优化、在线仿真与可视化、系统集成等技术研究,建立装配仿真分析与优化的资源库和知识库,实现装配过程的实时跟踪、精确管理和智能控制。

1 基于仿真模型的装配评估、分析与优化

如图5所示,在基于虚拟仿真的装配过程设计基础上,将决策机制、专家系统等引入虚拟仿真中,实现关键参数优化、系统性能预测、装配过程优化等功能。设计人员不再直接面对仿真模块所提供的各种类型的海量数据,把繁琐的计算、搜索甚至决策任务部分或完全交给计算机。

2 在线仿真与装配过程可视化

利用条码扫描、人机交互、传感器采集、读写器采集和数据网卡采集等实时数据采集技术,将传统的车间资源进行标识,利用车间数据总线或局域网实现上位机与装配资源的实时数据交换。将信息采集系统和装配装备相结合,综合应用在线装配过程仿真、可视化检测与控制等技术,对仿真模型、运行参数、控制策略、分析评估等内容进行修改,实现基于装配现场状态的参数化驱动仿真。

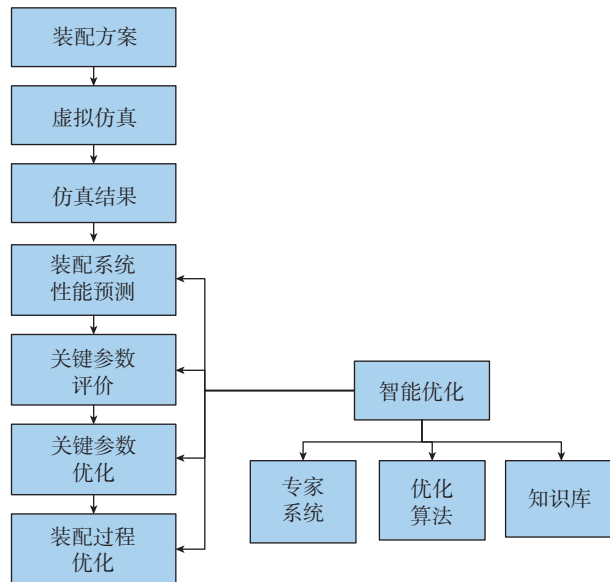


图5 装配智能优化流程

Fig.5 Intelligent optimization flow for assembly

3 面向装配仿真的知识驱动技术

在仿真建模过程中,建立模型设计知识库、仿真知识库、仿真运行知识库、系统控制知识库,利用建模专家系统和知识库为用户提供技术支持。采用推理机制实现工艺布局仿真、工艺流程仿真和工序仿真模型的建立。

三维装配工艺数据的现场应用

采用MBD技术后,产品结构设计结果是三维数模,不再是纸质工程图;同时,产品装配工艺数据也是数字形式。因此,装配操作人员的工作依据与工作方式将发生深刻变化。

(1) 装配工艺数据组织应满足装配工艺管理对装配工艺数据的全面需求。装配工艺数据应该直观、清楚地反映出产品装配工艺流程,得到装配工艺流程中装配工艺资源的需求关系以及输入、输出的详细零部件,并实现装配件、装配工艺、装配资源三者之间的相互追溯,为产品设计与生产管理提供技术支持。

(2) 三维数字化模型应包含设计、工艺、制造、检验等各部门所需的产品特征和制造信息,成为设计制造的唯一技术依据。MBD技术能够实现三维数字化、无图纸设计制造技

术,彻底转变了飞机产品的传统研制模式和研制流程。

(3) 在MBD技术条件下,数字化装配工艺策划和装配工艺详细设计工作须在适应MBD技术要求的工艺设计与管理平台的支持下,直接依据三维实体模型开展三维工艺编制工作,改变了以往同时依据二维工程图纸和三维实体模型进行设计产品装配工艺和零件加工工艺设计的方法,真正实现无图纸环境下的全三维制造(图6~图9)。

板件数字化自动钻铆技术

依据大飞机尺寸大的特点,大飞机的大部件,如前、中、后机身,机翼等均适宜于板件化生产模式。板件化装配开敞性好,可采用单壁板、多壁板/大壁板和筒段等自动钻铆装配技术。数字化自动钻铆技术是指在装配过程中利用数字化柔性装备完成定位、夹紧、钻孔、镗窝、涂胶、送钉、铆接等工作^[10]。要将数字化自动铆接技术成功应用于大飞机的板件装配,除了要解决误差补偿、高精度控制、柔性工装、钻铆装备、夹持点布局等技术难题^[11-12],还需攻克数字化自动钻铆的配套技术。

(1) 面向数字化自动钻铆的结构并行设计方法。

根据数字化自动钻铆装配的要求,应用并行工程和数字化产品定义技术,使工艺与设计紧密结合,对铆接装配配件、装配工艺分离面的划分、装配定位基准及定位技术方法的选择与确定等进行分析,制定满足数字化自动钻铆装配的结构工艺要求,形成面向数字化自动钻铆的结构设计



图6 工序内容表示

Fig.6 Representation of process contents

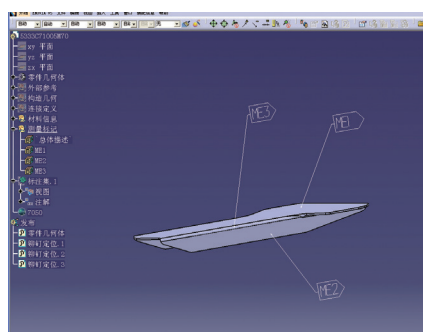


图7 MBD工艺模型中的测量计划描述

Fig.7 Description of measurement program in MBD process model

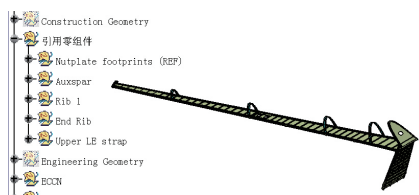


图8 配套零组件列表表示

Fig.8 Representation of matched component list

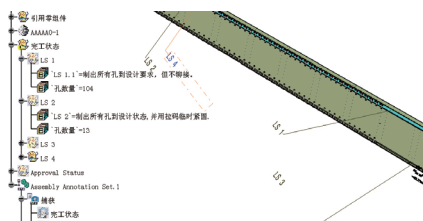


图9 完工状态描述

Fig.9 State description of completion

与工艺规范。

(2) 面向数字化自动钻铆的工艺设计方法。

通过对板件工艺特征的深入分析,结合自动钻铆技术特点和技术要求,制定适用于大飞机板件铆接装配的数字化协调工艺方案。以三维MBD数模为基础,采用数字标工协调技术,选择先进的装配工装形式,设计可靠的装配工装。

(3) 面向数字化自动钻铆的数字化协调技术。

根据板件设计特点与数字化装配技术要求,对板件数字化装配的协调工艺技术进行全面的分析研究。综合运用数字化容差分配、关键特性分析与控制技术、数字标工等技术,对板件的各制造、装配环节的协调路线进行全面分析,制订可行的协调方案和技术流程。

结束语

数字化装配是飞机装配技术的发展方向,对其研究具有非常重要的理论意义和工程应用价值。研究和发 展数字化装配技术,不仅要攻克数字化装配各项子技术,更要对各项数字化装配子技术进行集成,还需打通数字化装配技术与其他飞机数字化制造技术之间的数据流。明确数字化装配技术应用规范体系,并建立与之相适应的工艺过程和组织模式,尽可能地提高数字化装配技术的工程应用价值。

参考文献

[1] 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(1/2):60-65.
CHEN Xuemei, LIU Shuntao. Development and application of digital assembly technology for aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014(1/2):60-65.
[2] 郭恩明.国外飞机柔性装配技术[J].航空制造技术,2005(9):28-32.
GUO Enming. Aircraft flexible assembly

technology of foreign countries[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2005(9):28-32.

[3] 景武,赵所,刘春晓,等.基于 DELMIA 的飞机三维装配工艺设计与仿真[J].航空制造技术,2012(12):80-86.

JING Wu, ZHAO Suo, LIU Chunxiao, et al. 3D aircraft assembly process design and simulation based on DELMIA[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012(12):80-86.

[4] 巫鹏伟,卢鹤,于勇,等.工程师的新语言—基于模型的定义[J].航空制造技术,2010(21):68-70.

WU Pengwei, LU Hu, YU Yong, et al. New language of engineer-model based definition[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2010(21):68-70.

[5] 梅中义,杨涛.基于模型定义的飞机全三维设计实现技术[J].航空制造技术,2013(8):26-28.

MEI Zhongyi, YANG Tao. Aircraft full three-dimensional design implementation technology based on MBD[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(8):26-28.

[6] 乔志峰,赵庆斌,李刚,等.基于 MBD 的数字化仿真技术在航天制造企业应用研究[J].航空制造技术,2014(5):6-9.

QIAO Zhifeng, ZHAO Qingbin, LI Gang, et al. Research on application of digitization simulation technology in aerospace manufacturing enterprise based on model based definition[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014(5):6-9.

[7] 王乾平.先进技术手段在大飞机设计中的应用及展望[J].航空制造技术,2015(3):68-71.

WANG Qianping. Application and prospect of advanced technology in large aircraft design[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015(3):68-71.

[8] 郭景涛,梅中义.基于 MBD 的飞机数字化装配工艺设计及应用[J].航空制造技术,2011(22):74-78.

GUO Jutao, MEI Zhongyi. Design and application of MBD-based aircraft digital assembly process[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011(22):74-78.

[9] 白永红.飞机研制中的装配过程仿真[J].航空制造技术,2009(14):58-62.

BAI Yonghong. Assembly process simulation during aircraft research[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(14):58-62.

[10] 许国康.自动钻铆技术及其在数字化装配中的应用[J].航空制造技术,

(下转第 51 页)