

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.03.017

数字样机在飞机数字化协同研制中的发展

Development of Digital Mockup in the Aircraft Digital Cooperation

徐 剑 / XU Jian

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

飞机数字样机是飞机产品的数字化表述,是与飞机相关的所有三维数字信息构成的产品模型集合,可用于工程设计、工程分析(空间分析、运动分析、拆装模拟、加工制造和维护检测)、工程仿真等活动。飞机数字样机的出现从根本上革新了传统飞机协同研制方式,开创了飞机数字化协同研制的新阶段,随着数字化技术、计算机网络技术的不断发展,数字样机在飞机数字化协同研制中的作用和地位也不断发展。从飞机数字化协同研制的发展历程出发总结论述了数字样机的发展历程。

关键词: 数字样机; 设计协同; 三维模型

中图分类号: V260.5

文献标识码: A

OSID:



[**Abstract**] The DMU (Digital Mockup) is a digital representation of aircraft products, which is a product model consisting of all 3D digital information related to the aircraft. It can be used for engineering design, engineering analysis (space analysis, movement analysis, assembly and disassembly simulation, manufacturing and maintenance inspection), engineering simulation, etc. The DMU radically reformed the traditional aircraft collaborative development, creating a new phase of aircraft collaborative development. With the development of digital technology and computer network technology, the role and status of DMU in collaborative development of the aircraft digitalization is developing constantly. In this paper, the development process of the DMU is summarized according to the history of the aircraft digital cooperation.

[**Keywords**] digital mockup; design cooperation; 3D model

0 引言

飞机数字样机是飞机产品的数字化表述,是与飞机相关的所有三维数字信息构成的产品模型集合。数字样机能够完成以下功能:基于工程的参数化三维零部件模型设计、制造和装配模拟;零部件干涉间隙、装配检查,最大限度地避免样机制造过程中返工;机构的运动仿真分析;模拟真实场景的零部件有限元分析、动力学分析、运动学分析、模拟各种各样作用力分析;作为 CAM/PDM/ERP (CAM, Computer-aided Manufacturing, 计算机辅助制造; PDM, Product Data Management, 产品数据管理; ERP, Enterprise Resource Planning, 企业资源计划)的前端数

据源,进行相关功能、性能的仿真等。

现代企业对于产品的研制,追求最快的产品上市时间、最好的产品质量、最低的产品成本、良好的产品服务和尽可能少的环境污染等以适应和挑战市场的激烈竞争。数字样机凭借以上功能和优势,可以形象直观地对数字化的虚拟产品进行设计优化、性能测试、制造和使用仿真,为产品的研发提供全新设计方法。与传统的物理样机相比,在降低产品的开发成本,缩短研发周期,提高产品质量和性能,获得最优化的创新产品设计,快速响应市场变化以及为产品提供更良好的服务方面,都具有无法估量的优势^[1]。

现在汽车、机械、船舶、航空航天行业越来越

广泛地使用数字样机进行产品的设计、仿真与验证。

1 数字样机的发展历程

20 世纪 80 年代以前,所有的飞机都是在绘图板上“诞生”的。使用二维工程图样设计生产三维真实的飞机,工程研制具有巨大的复杂性和挑战性。把一架超过 10 万个零件的飞机完全按二维图纸方法设计出来,并使用二维图样把三维飞机上所有复杂事项都考虑了进去,到了最后总会会出现让人不愉快的情况,因为把一切情况都在二维图样上考虑周全几乎是几乎不可能的事情。

为了管控好其中的复杂问题,纠正管理偏差,使其得到完善,往往需要制造昂贵且周期漫长的飞机物理实物样机提供辅助支持。但是最后,研制情况依然不尽人意,因为物理实物样机的生产制造总不可避免地存在缺陷,又有着不可思议的复杂性,到了车间在总装首批飞机的时候,仍然会发现考虑不周的意外事件。

数字样机是 20 世纪 90 年代随着 CAD/CAM (计算机辅助设计与制造) 技术、计算机网络技术的发展,从传统的飞机协同研制模式中变革出的巨大产物,它的出现极大地改变和革新了飞机协同研制的模式,开创了飞机数字化协同研制的新阶段。

同时,随着飞机数字化协同研制发展历程经历数字化产品定义、数字化过程管理、优势企业中心联合三个阶段的发展^[2],数字样机也不断进化和完善本身的内涵和作用。

1.1 飞机数字化协同研制数字化产品定义阶段的数字样机

1990 年,波音公司在波音 777 飞机研制过程中首次采用全面的产品三维数字化设计技术,进行 100% 的三维数字化产品定义、100% 的数字化预装配和 100% 的并行产品定义^[3],利用计算机及其软件进行无纸化设计,完成了世界第一款全数字化定义的数字样机,开创了数字样机在飞机数字化协同研制中应用的先河,革新了传统飞机协同研制的模式。图 1 为波音 777 全机数字样机。

数字样机三维数字化模型精确定义的飞机零部件几何尺寸和形状,可以让工程师及早发现设计误差,判定数以万计的零件装配是否合理,然后开始制造实体的原型机,解决设计协调和制造的问题,极大

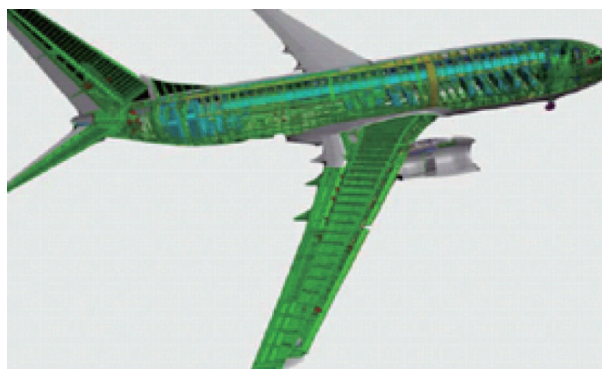


图 1 波音 777 全机数字样机

地提高飞机制造质量、降低成本和缩短周期。

波音 777 数字样机的主要特征是建立了全三维的数字化模型,并进行数字化预装配^[4],利用数字模型进行虚拟装配来检查几何干涉和装配协调,并通过三维数字化模型进行质量特性、人机功效分析、刚度/强度分析仿真等,替代了传统物理实物样机的设计协调作用。波音 777 数字样机是最初级的数字样机,但却开创了飞机数字化协同研制的新阶段,具有跨时代的意义。

受限于当时软硬件技术条件,波音 777 数字样机未真正意义上实现 100% 的数字化定义,一部分尺寸公差与技术要求规范仍然使用二维图纸进行定义,作为三维模型的补充和参考。

1.2 飞机数字化协同研制数字化过程管理阶段的数字样机

1995 年以后,波音公司在新一代 737NG 系列研制中开始实施基于过程驱动的电机构型定义和控制制造资源的管理理念,通过建立单一的产品数据源(波音 777 三维模型与二维图纸并存),使用产品数据管理(PDM)软件将飞机的全生命周期的产品数据和企业的相关活动进行统一的管理。

与此对应的 737NG 数字样机也得到了新的发展。737NG 数字样机将三维数字化模型与构型管理的产品数据结构相关联,实现了基于构型管理的产品数据模块化数字样机,同时根据不同的构型视图定义进行配置管理,以实现基于数字样机的过程数据集成和管理。图 2 为波音 737-700 飞机。

同时期,空客 A380 数字样机将数字样机的内涵和应用范围进行了扩展,A380 的数字样机范围不仅包含传统意义上进行生产制造的详细设计(模型)数字样机,还包括主几何模型、初步空间分配数



图2 波音 737-700 飞机

数字样机、制造工艺重构数字样机、销售展示数字样机、工装型架数字样机、维修维护数字样机等,将数字样机的范围从设计扩展至销售、制造、维护等飞机的全生命周期。同时,通过构型管理的各种视图定义与属性关联,实现可配置化管控。将数字样机模型通过仿真与虚拟技术配合完成数字化销售、客户选型、模拟安装、生产模拟、虚拟维修、机组维修培训等后端仿真验证工作,极大地拓展了数字样机的应用范围。图3为A380空间分配数字样机。

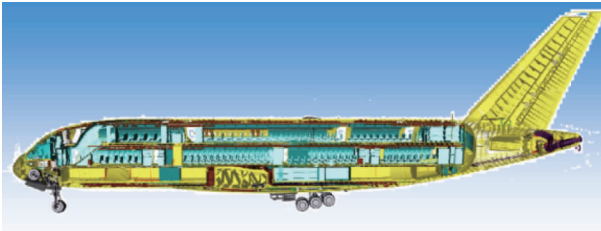


图3 A380 空间分配数字样机

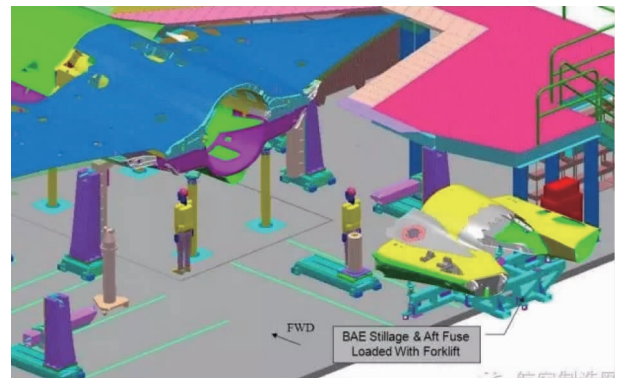
这一时期数字样机的主要特点是,在完善加强原有三维数字化定义的基础上,通过与构型管理相结合,实现基于产品结构模块化管理的数字样机;通过各种视图定义将数字样机的范围拓展至全生命周期,通过属性成熟度实现技术过程状态管理;基于数字样机实现后端仿真验证活动,将数字样机的范围和应用都扩展至了一个新的领域,极大地发挥了数字样机的作用。

1.3 飞机数字化协同研制优势企业中心联合阶段的数字样机

20世纪后期开始,飞机数字化协同研制提出需在产品研制初期利用数字化仿真技术描述产品的行为状态,通过对数字样机的仿真实验分析、验证认可飞机产品的性能后,进行产品的实际生产制造,从而降低产品的研制技术风险。

典型的代表是F35飞机的研制,洛克希德马丁

公司充分发挥了全球合作伙伴的最优技术能力,以数字化设计制造管理为重点,形成了全球性的虚拟数字化协同研制环境。F35以数字样机为载体和手段,实现了产品数字化、设计数字化、试验数字化、飞行数字化高度集成的数字化设计、制造、仿真、验证,将数字样机和利用数字样机相关的前端仿真设计、后端仿真验证综合集成,使数字样机突破了原有狭义几何数字样机的约束,扩转到性能仿真、计算、验证的广义非几何领域。图4为F35数字化模拟与实际装配。



(a) F35 数字化模拟装配



(b) F35 实际装配

图4 F35 数字化模拟与实际装配

波音787数字样机是由全世界6000名工程师联合协同设计,按照统一的标准进行概念设计、产品设计、产品制造和产品支持而建立的基于全面MBD(Model Based Definition,简称MBD)三维数字化设计的全球设计协同的数字样机^[5]。同时,通过应用数字样机数字化工厂、虚拟安装和虚拟总装、数字化维修和客户支持、数字化客户展示和配置体验配合飞机全生命周期的各项工作^[6]。2006年12月,波音公司使用最新的3D虚拟技术结合波音787数

字样机展示了虚拟的波音 787 梦想飞机下线,将数字样机在飞机研制后端的仿真验证应用提升到新的高度。图 5 为波音 787 数字样机模拟全机总装。



图 5 波音 787 数字样机模拟全机总装

空客 A350 同样建立了全球协同的数字样机(如图 6 所示),提出以数字样机作为主数据,使全球大约 4 000 名工程师在统一的数字化平台中进行设计协同,建立了大约 30 000 个数字化三维模型,17 000 000 个数据链接,将数字样机划分为飞机类数字化三维模型和非飞机类数字化三维模型^[7]。飞机类数字化三维模型主要服务于飞机产品结构,而非飞机类数字化三维模型用于反映飞机制造过程中的周边设备和信息,主要是工艺规范、维修操作、试验和其他方法等,具体包括生产设施、型架与工具、通用服务设备、维护设备、试验设备,以及市场和物流货运等信息,促进设计上、下游之间数据传递的效率和正确性。A350 飞机同时开展了基于数字样机的前端仿真设计活动,论证前期不同方案的性能指标,以进行多专业多方案的优化论证。



图 6 A350 数字样机(销售展示)

这一时期数字样机的主要特征是数字样机不再局限于企业内部,成为了全球跨企业数字化协同的

数字样机。数字样机内涵的范围也进一步得到扩大,不仅仅局限于飞机产品的几何领域,同时向非几何领域的功能仿真、虚拟维修、数字化工厂、仿真计算进一步扩展,利用三维零件的多体模型和有限元模型,在虚拟实验室或虚拟试验场的试验中精确地预测产品的操作性能,如运动/操纵性、振动/噪声、耐久性/疲劳、安全性/冲击、工效学/舒适性等,基于数字样机模型的后端仿真验证应用活动更加趋于成熟;同时基于数字样机模型的前端设计仿真活动也进一步实现和发展。

数字样机不再是局限于几何领域的三维数字化模型集合,而逐渐成为以三维数字化模型为核心和载体的数字化虚拟产品协同研制环境。图 7 为数字样机随飞机数字化协同研制的发展历程。

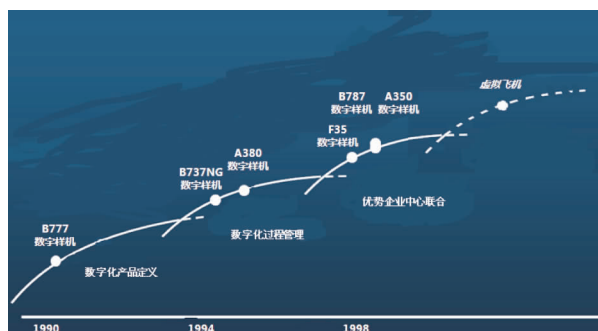


图 7 数字样机随飞机数字化协同研制的发展历程

2 总结与展望

综上所述,数字样机是飞机数字化协同研制的产物和集中体现,也是实现飞机数字化协同研制的有效载体和手段(方法)。

数字样机发展到现今已经慢慢从几何、物理安装等角度对飞机进行数字化的定义、仿真及制造,确保实际飞机制造及装配过程中可能出现的问题在早期得到发现与解决,并驱动设计制造过程快速迭代的狭义几何数字样机,转变为从功能、性能、行为等角度对飞机进行数字化的定义、仿真验证及功能集成测试,确保飞机试验/试飞/取证过程中可能出现的问题在早期得到发现与解决,并尽可能将飞机研发的大循环改为小循环的广义功能数字样机。数字样机作用的焦点也从“确保飞机能装”向“确保飞机能飞”发展转变。图 8 为基于功能仿真验证的数字样机。

展望未来,随着科学技术的不断发展和新技术

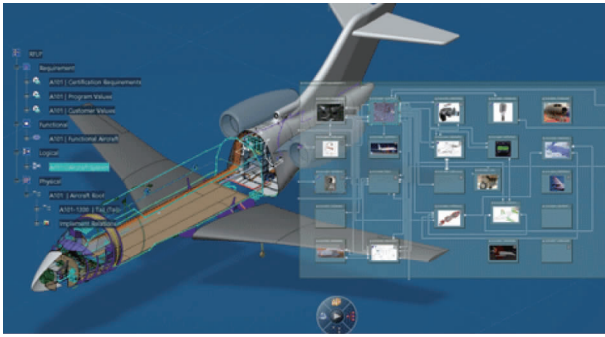


图8 基于功能仿真实验的数字样机

与数字样机的不断融合,飞机数字样机将最终成为全数字化的虚拟飞机。

参考文献:

[1] 汉斯-亨利奇·阿尔特菲尔德. 商用飞机项目——复杂高端产品的研发管理[M]. 唐长红,译. 北京:航空工业出版

社,2013:47-49.

[2] 杨旭. 飞机结构数字化协同设计[M]. 北京:航空工业出版社,2017:1-7.

[3] 范玉青,梅中义,陶剑. 大型飞机数字化制造工程[M]. 北京:航空工业出版社,2011:173-174.

[4] 宁振波. 数字样机在飞机设计中的应用[J]. 航空制造技术,2002(10):20-34.

[5] 王咏梅,田宪伟. 飞机全三维数字化建模技术[J]. 航空制造技术,2013(21):32-35.

[6] 范玉青. 现代飞机制造技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001:25-27.

[7] 吴晓光,周彬. 数字化三维模型在 A350 项目中的应用[J]. 国际航空,2015(12):64-66.

作者简介

徐 剑 男,硕士,工程师。主要研究方向:飞机总体布置设计。E-mail: xujian7@comac.cc