

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.03.010

# 民用飞机数字样机建模与 仿真技术初步研究

## Preliminary Research on Digital Mockup Modeling and Simulation Technology for Civil Aircraft

陈裕 / CHEN Yu

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

### 摘要:

自20世纪90年代以来,民用飞机的研制手段有了质的提升,基于数字样机的产品开发模式成为了主流,数字样机建模与仿真技术对于民用飞机研制的支撑作用开始显现。同时,基于飞机研制的需求,数字样机建模与仿真技术也取得了显著的进步,在飞机上的应用也得到不断的延伸与拓展。讨论并梳理了数字样机的建模与仿真在飞机研制过程的设计流程与关键技术,对民机数字样机的研制有一定的参考价值。

**关键词:** 民用飞机; 数字样机; 建模; 仿真

**中图分类号:** V216.7

**文献标识码:** A

**OSID:**



[Abstract] Since 1990s, the development for civil aircraft has been improved qualitatively, and the model of product development based on digital mockup (DMU) has become mainstream. DMU modeling and simulation technology begin to show their support role in the development of civil aircraft. At the same time, based on the requirement of aircraft development, DMU modeling and simulation technology have made remarkable progress, and the application of the aircraft continues to extend and expand. The design process and key technology of DMU modeling and simulation in the process of aircraft development are discussed and summarized in this paper. The design process and key technology are good references to the development of other civil aircraft DMU.

[Keywords] civil aircraft; digital mockup (DMU); modeling; simulation

## 0 引言

在早期的飞机研究过程中,需要通过制作真实缩比例物理样机来验证飞机设计的空间几何的协调性,一般来说,飞机研制过程是串行的,若前面一阶段未完成验证,则无法继续开展下一阶段的设计改进工作<sup>[1]</sup>。

随着技术的进步,尤其是基于数字样机建模与仿真的CAD/CAE(Computer Aided Design/Computer Aided Engineering)等工具与手段迅速发展,在现代大飞机研制过程中,传统的物理样机已经被数字化的三维数字样机所替代,如20世纪90年代,在波

音777飞机的研制过程中,数字样机技术得到了应用。按照国标GB/T26100-2010的定义<sup>[2]</sup>:数字样机是对产品整机或具有独立功能的子系统的数字化描述。相对物理样机而言,数字样机核心是借助计算机技术构建的产品数字化模型,这些模型从几何、物理和行为等方面能够反映真实产品的特性。

同时,基于数字样机,从方案论证到详细设计需完成:基于数字化模型开展系统配置与协调;系统管路、电缆定位及取样协调;运动间隙控制与协调;驾驶舱、客舱、货舱、电子电气设备舱等舱段或部段的内部布置与协调;人机工效设计与检查;重要协调区域安全性、维修性协调等,跨部门和跨专业协调设计

可以方便实现,研制过程可以并行。基于数字样机的飞机研制流程与传统物理样机的研制流程相比较,其关系如图1所示。

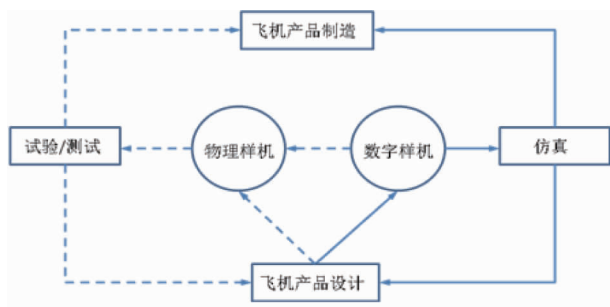


图1 基于数字样机和基于传统方法的飞机产品开发模式

## 1 数字样机的建模与仿真定义

数字样机建模与仿真是大型民用飞机数字化的主要工作内容,狭义上的数字样机建模,即对飞机几何特性的数字化的描述,建模的结果一般也称为数字样机或几何样机。

狭义上的数字样机仿真一般指在三维建模系统中,针对模型的几何协调关系进行运动仿真,如活动部件和机构仿真,以确定布置是否协调和满足空间要求,如维修性、可达性的仿真,以确定飞机的维修特性是否满足需求。广义上的数字样机仿真还包括在性能分析中,利用CFD(Computational Fluid Dynamics,简称CFD)、热、磁、结构有限元分析等仿真软件,对全机或部件在与飞机使用相关的环境中(如飞行大气环境、特定的受载荷环境等)的空气动力学、温度场、电磁兼容、结构动力学等特性进行仿真;在工程模拟器中,模拟驾驶舱环境、通过人在回路进行操作,对飞机或系统的综合特性进行仿真<sup>[3]</sup>。

由此,数字化建模将飞机产品研制过程中的飞机特性与使用场景全部通过计算机仿真实施,可以简化飞机设计程序,提升飞机设计协调效率,缩短了研制周期,降低研制成本,提高飞机设计精度。

## 2 数字样机建模与仿真的业务流程

对于民用飞机的研制而言,数字样机建模与仿真的工作涵盖在从概念设计到试验、试飞取证的每个阶段,经过归纳与总结,其流程与步骤主要包含以下8部分的内容:

1)问题定义:确定数字样机业务需求;

2)项目规划:制定数字样机研制的目标与规划(包括硬件、软件、人力等资源);

3)系统定义:确定数字样机的范围、功能、边界条件等;

4)建模规则定义:制定数字样机建模要求、数据格式要求、样机协同方法、控制流程、管理流程、协调流程等;

5)建模:收集协调模型所需要的设计输入,开展建模;

6)模型校核:检查数字样机是否正确地反映了输入输出关系以及是否正确地表示了飞机实物的特性;

7)仿真:对数字样机进行检查、协调、分析、试验验证;

8)分析与解释:对仿真结果进行评价。

## 3 数字样机建模与仿真的难点与关键技术

随着数字样机建模与仿真的技术不断发展,目前,其在民机研制过程中应用的广度与深度也不断提升,对于建模与仿真还存在以下几个难点与关键技术。

### 3.1 数字化建模技术

数字样机最早伴随CAD技术的产生而提出,最初发展阶段的数字样机建模技术,需设计人员通过使用专业三维数模建模软件对零部件进行精确地几何建模,生成飞机各种形状零部件的三维模型实体及曲面,但是所构成的三维数模无法集成各类工艺信息,因此设计人员需要将三维数模转化为二维图纸,并在二维图纸中加入所需要的工艺流程以及各类设计的信息表述。因此,在实际设计生产过程中,设计人员不仅要进行三维建模,还需转化为二维图纸以加入更多的非几何信息。这种通过二维图和文字来重构三维产品模型的方法,容易产生二次错误风险,难以保证数据的一致性<sup>[1]</sup>。

2003年,美国机械工程师协会(American Society of Mechanical Engineers,简称ASME)发布了关于三维模型标注信息内容的标准(ASME Y14.41)<sup>[4]</sup>,波音公司在波音787飞机中全面推出了一种完全不同于工程图的、全新的定义产品技术——基于模型的定义(Model Based Definition,简称MBD),使得整个项目周期缩短约30%。

MBD 技术在过去三维设计、二维表达方法的基础上,将飞机产品特有的所有几何信息和过去不包含在飞机产品定义里的非几何特征信息整合在一个模型中,建立基于 MBD 的几何定义、属性信息、材料信息、工艺要求等的产品信息的完整描述,并通过 PDM(Product Data Management, 简称 PDM) 平台建立以三维模型为核心的设计制造无遗失的信息传递模式,保持整个过程的数据唯一性,真正达到飞机研制的协同设计、异地制造目的。MBD 技术的关键是建立一个结构合理、信息完整的高质量 MBD 数据集。一般来讲,MBD 数据集包含的信息如图 2 所示<sup>[5]</sup>。

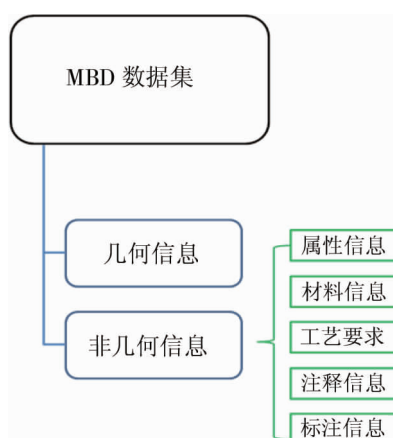


图 2 MBD 数据集所包含信息

### 3.2 数字样机建模/仿真数据管理平台构建技术

对于民用飞机数字样机来说,为保障建模/仿真数据模型数据构型状态清晰、可控,需要搭建相应的管理平台,管理在飞机各个设计阶段的数字化三维模型和其它数据,对全机、部件和各个系统,都应建立详细的产品结构树,对产品的数字化定义、版本、更改单、成熟度、装配特性、工艺特性等进行全面的管理<sup>[1]</sup>。同时,为了满足研制的全球化及异地协同的需求,平台搭建过程中,必须具备足够的可靠性和安全性,能够对设计工作的并行性、协同化进行支持。

平台的构建应充分调研和评估可利用的商业成熟产品,并利用已有型号积累的数字化资源进行充分的验证。还需要做好建模、仿真工具和平台之间的数据流的集成工作,优化建模、仿真设计以及模型的全生命周期管理与工程流程的集成。

### 3.3 数字样机仿真的可视化技术

构造一个准确、完整、理想化的模型是很难的,传统数字样机在可制造性、可维护性、人机工程等需

要人机交互方面的模型及仿真相比较于物理样机来说不够直观,随着近年来虚拟可视化技术的发展,基于计算机的可视化的价值得到了普遍认可。

为了更真实地模拟和体验飞机的典型环境,需要应用 VR (Virtual Reality, 简称 VR) 技术来搭建基于数字样机可视化沉浸式虚拟和展示环境,如图 3 所示。有沉浸感的虚拟样机具有与物理样机一样的真实感,使其与人的交互与物理样机的效果接近,成为物理样机的合格替代者。沉浸式虚拟样机平台的实施,需要的经费较多,重点需要关注平台搭建的软硬件,要尽量采用开放性的、模块化的系统体系结构,最大限度地采用目前流行的产品和标准,平台应能够集成各类已有的建模与仿真工具。

沉浸式虚拟数字样机的建立,对于民机研制过程可以应用在机身整体、各个分系统、驾驶舱或客舱内部立体化人机工程分析与展示,多人协同虚拟装配分析、虚拟拆装、维修维护培训等方面,提供了一个可操作、虚拟交互和辅助决策及设计、方案验证及协调平台,可以有效提升产品设计水平。



图 3 VR 技术在数字样机仿真中的应用

### 3.4 飞机多领域系统建模与仿真集成

伴随 CFD 计算、CAE 分析、系统仿真和数值计算等技术的不断发展及其与数字样机可视化技术的深度融合,可以基于计算机模型进行产品机、电、热、磁、声等多学科性能的建模、仿真、分析和展示,数字样机范围从早期狭义的几何样机发展到性能样机阶段。对于飞机的性能仿真,如飞机的气动、飞行动力学、载荷、热的建模与仿真,目前已经有了广泛的应用,但是对于这些多学科仿真的集成,还需开展广泛的研究工作,尤其是对于不同的仿真工具所构建的

模型的集成工作,可以借助于相应的接口标准或开发相应的接口工具来实现。另外,对于飞机系统间交联耦合和系统综合性能,还需要通过多学科优化技术进行系统综合性能的优化<sup>[6]</sup>。

目前,传统数字样机仅用于描述飞机的理论几何状态,并未考虑飞机在实际使用环境状态下的几何状态,即飞机性能样机的各集成仿真结果对于飞机几何特性的影响,尚未集成到飞机的几何数字样机上。因此,有必要定义描述飞机实物实际使用特性的数字样机,这项工作的开展对于基于几何样机的协调结果的仿真准确性有着极为重要的支撑,并能显著降低飞机研制的风险。特别对于飞机上空间紧张、受环境影响较大的区域,如民机超临界机翼的后缘区域的系统布置,由于空间受限,需要对布置隔离间隙进行合理分配,确保能满足飞机飞行安全的需求。对于传统的几何样机的空间协调来说,可能基于某一构型状态下的机翼几何特性开展布置协调工作,而机翼在地面和在空中巡航状态下的机翼变形较大,这种变形对内部系统布置安装间隙的影响,是需要借助于数字样机的仿真集成来研究和考虑的。

## 4 结论

目前,数字样机建模与仿真技术有了飞速发展,

随着建模技术与仿真手段的不断提升,数字样机在飞机产品全生命周期中应用的范围也越来越广,有效缩短了大飞机的设计制造进程。同时对于数字样机仿真技术的集成、虚拟环境的构建等方面还需继续开展研究并与飞机研制相互促进,进一步提升数字样机的仿真精度。

### 参考文献:

- [1] 谢剑,李正强,黄帅,乔文峰. 浅析大飞机数字化设计与制造技术[J]. 航空制造技术,2016(5):87-92.
- [2] 郑党党,张志国,刘俊堂. 飞机设计中的数字样机技术[J]. 航空制造技术,2016(5):83-84.
- [3] 吴光辉,刘虎. 大型客机数字化设计支持体系框架[J]. 航空学报,2008,29(5):1386-1394.
- [4] 朱媛,马丽莎,黄北京. MBD技术在飞机研发中的应用[J]. 教练机,2011(2):32-34.
- [5] 任启振,葛建兵,陈才. MBD数据集的数字化定义[J]. 航空科学技术,2012(5):63-65.
- [6] 郑党党,刘看旺,刘俊堂. 飞机性能样机技术及体系研究[J]. 航空科学技术,2015(3):5-9.

### 作者简介

陈裕 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:民用飞机总体布置,数字化与数字样机。E-mail:chenyu2@comac.cc