

飞机设计中的数字样机技术

郑党党¹, 张志国², 刘俊堂¹

(1. 中航工业第一飞机设计研究院, 西安 710089;

2. 中国国际工程咨询公司, 西安 710089)

[摘要] 从 CAX 工具的单点应用发展到数字样机是数字化技术的飞跃。介绍了数字样机技术的产生和发展历程, 对比分析了数字样机技术对飞机设计流程的影响, 给出了飞机设计中几何样机和性能样机的概念及其用途。

关键词: 虚拟样机; 数字样机; 几何样机; 性能样机

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.05.083



郑党党

西北工业大学博士研究生, 现在中航工业第一飞机设计研究院工作, 主要从事数字化设计、分析仿真和系统工程等方面的技术研究。

随着计算机技术的发展, 数字化技术的应用越来越广泛, 各类计算机辅助技术(CAX)在产品设计中发挥着越来越重要的作用。随着数字化技术应用的不断深入, 产品设计正在由以 CAX 工具单点应用为核心的“设计数字化”向以数字样机(Digital

Mock-Up, DMU)为核心的“数字化设计”转变, 数字样机技术成为当前国内外研究的热点^[1]。

数字样机技术的产生与发展

1 虚拟产品开发与数字样机

20 世纪 80 年代到 90 年代, 计算机技术的飞速发展推动了数字化技术在飞机等复杂产品研制中的快速应用。波音公司在波音 777 研制中引入虚拟产品开发技术(Virtual Product Development, VPD), 采用数字化手段研制出世界上第一架“无纸客机”, 其中设计、装配、性能评价与分析大量采用了数字化技术, 使得研发周期大大缩短、研发成本显著降低, 确保了最终产品一次接装成功^[2]。

虚拟产品开发过程的核心技术是虚拟样机技术(Virtual Prototyping Technology, VPT), 即利用构建在计算机上、具有相当功能真实度的原型系统代替物理样机, 对其候选设计的各种特性进行测试和评价的一种综合性技术。按照美国国防部建模和仿真办公室(DMSO)的定义, 虚拟样机技术包括数字样机、虚拟功能样机(Functional Virtual Prototyping, FVP)

和虚拟工厂(Virtual Factory, VF)3 个方面^[3]。

- 数字样机, 主要用于面向制造的设计, 用于快速评估组成产品的全部三维实体模型装配件的形态特性和装配性能;

- 虚拟功能样机, 对应于产品分析过程, 用于评价已装配系统整体上的功能和操作性能;

- 虚拟工厂, 对应于产品制造过程, 用于评价产品的制造性能。

从研制流程上看, 数字样机技术处于研制上游, 是整个虚拟样机技术的基础和核心(图 1)。

2 数字样机技术及其发展

国家标准 GB/T 26100-2010《机械产品数字样机通用要求》给出了数字样机的定义: 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, 这种描述不仅反映了产品对象的几何属性, 还反映了产品对象的功能和性能^[4]。

数字样机有不同的分类方法, 按照产品完整性分为全机样机和子系统样机; 按照数字样机研制流程或生命流程阶段分为一级样机、二级样机和三级样机, 其中一级样机主要面向方案设计, 二级样机主要面向详细

初步设计,三级样机主要面向详细设计和试制^[5-6]。

相对于CAX等单点数字化技术,数字样机技术从系统的层面考虑产品研制过程的数字化应用问题,是一项跨学科综合性技术,其内涵和外延也随着数字化技术应用的深化而不断拓展。数字样机技术的应用可追溯到波音777研制中,波音公司采用数字化技术构建了包含300万个零件的波音777数字样机模型,用以取代制造物理样机,并基于数字样机进行零件装配干涉预检查和可达性、可维护性的仿真,使得设计工程师和制造工程师可以基于数字样机开展并行工程,把飞机在制造、装配和飞行过程中可能出现的问题尽量解决在制造前、装配前和试飞前^[7]。中航工业西安飞机设计研究所率先在国内飞机研制中采用数字样机技术,实现了三维外形建模、三维结构设计、结构件和主要飞机系统件的预装配,最终建立了5万多个零组件、43万标准件的全机数字样机,随后在大飞机研制中将数字样机技术应用推向了更高的水平,实现了全三维并行协同研制^[8]。

早期的数字样机主要基于CAD技术描述产品的几何结构及其相关的非几何信息(设计尺寸、工艺、制造信息等),可用于设计检查和预装配分析,随后发展到运动机构分析、人机功效分析等高级应用。近年来,随着CAE技术应用的不断深入,数字样机技术逐渐向反映产品功能和性能的方向发展。达索公司提出了功能数字样机的概念(Functional Digital Mock-Up, FDMU),用于拓展传统DMU的应用,主要支撑需求与功能分析、系统架构设计与综合性能仿真等。欧盟联合包括空客、德宇航在内的50多家企业和研发机构发起CRESCENDO项目,进行性能数字飞机(Behavioural Digital Aircraft, BDA)技术研究,解决飞机能量综合优化问

题^[9]。

基于数字样机的飞机设计流程

数字样机的核心特征是研制过程的数字化,不仅表现在设计模型等信息表达方式的数字化,而且从根本上改变了传统设计流程。

本文从飞机研制的设计过程对传统设计流程和基于数字样机的设计流程进行对比分析,具体如图2所示。

在传统的设计流程中,方案设计完成后往往通过简单的分析计算对方案进行评估,虽然部分子系统或者核心部件也会进行原理性试验,但是无法从整体上对方案进行评估,随后便转入详细设计,最终通过物理样机试验进行产品功能和性能的验证。

在基于数字样机的设计流程中,方案设计完成后需要构建多学科数字样机,基于建模与仿真技术进行方案的早期评估和综合性验证,并根据仿真验证结果对方案进行优化,随后再转入详细设计。

传统的设计流程是一种试验驱动的设计过程,其典型特征是串行工作和后期验证,由于设计人员基于独立的模型开展设计,设计数据难以共享,多专业难以有效协同;各设计阶段内部的验证不足,主要依赖后期的物理试验进行验证,容易造成跨阶段的更改和设计迭代,最终给研制成本和周期带来很大的挑战。基于数字样机的设计流程是一种仿真驱动的设计过程,其典型特征是并行工程和持续验证,由于设

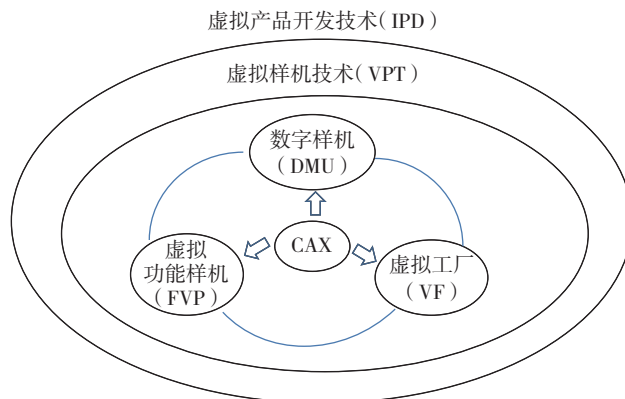


图1 虚拟样机与数字样机的关系
Fig.1 Relationship of VP and DMU

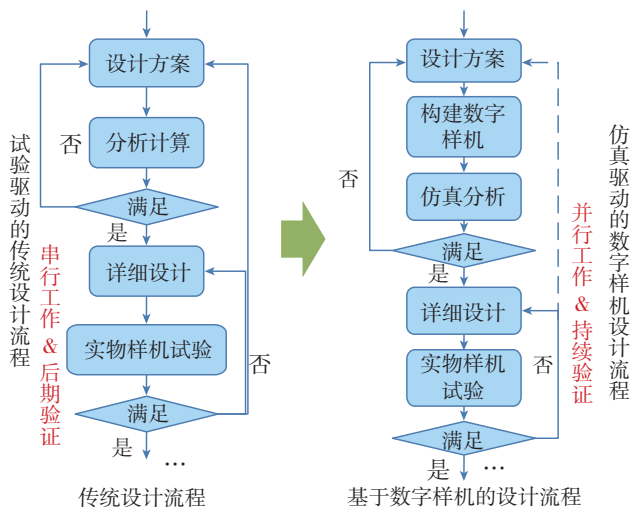


图2 数字样机技术对设计流程的改变
Fig.2 Change of the design process due to the DMU technology

计人员基于统一的全机数字样机开展在线设计,实现了设计数据的实时共享和成熟度控制下的多专业协同;基于数字样机在方案设计、详细初步设计和详细设计等不同阶段可以进行持续的仿真验证,将设计缺陷消除在各个设计阶段内部,极大减少后期的物理试验,消除跨阶段的更改和设计迭代,从而达到飞机研制周期、降成本的要求。

飞机设计中的“两类三级样机”

数字样机技术体系在工程实践过程中不断发展,为了更好地推进数字样机技术与飞机设计业务过程的深度融合,中航工业西安飞机设计研究所从功能和应用的角度对数字样机进行了细分,提出了飞机设计中的“两类三级样机”,即几何样机和性能样机,如图3所示。

几何样机主要以CAD技术为核心,从组成结构的视角描述产品的几何特征及其相关的制造信息,用于支撑数字化设计主流程,按照研制阶段划分为一级几何样机、二级几何样机和三级几何样机。

性能样机主要以CAE技术为核心,从功能和性能的视角描述产品的多学科性能,用于支撑分析仿真辅流程,按照研制阶段划分为一级性能样机、二级性能样机和三级性能样机。基于几何样机的飞机设计主流程和基于性能样机的飞机设计辅流程相辅相成、高度交叉,共同推动飞机设计向前推进。

1 几何样机

飞机数字化几何样机主要通过三维CAD技术描述产品的几何特征及相关的非几何信息,如拓扑结构、几何尺寸、空间位置及其他制造属性等,可用于产品的设计协调、干涉检查、虚拟装配和展示等。

(1)一级几何样机。

一级几何样机面向概念设计和初步设计,主要支撑多方案的并行设计,



图3 飞机设计中的两类三级样机

Fig.3 Two types of DMU at three phases in aircraft design

计,包括总体骨架模型定义、总体布置、外形设计和初步的结构布置设计等过程。一级几何样机,通过成熟度控制方案的并行设计,通过建立可配置的方案控制单元实现全机方案的配置管理。例如,在总体方案设计中,往往基于虚拟现实环境建立包含三维外形、总体和结构布置三维模型的一级几何样机沉浸式系统,在此基础上开展总体布置方案的可视化设计和分析验证。

(2)二级几何样机。

二级几何样机面向详细初步设计,主要支撑基于唯一优选方案的协调设计,包括结构骨架模型及布置设计、主要零部件设计、系统空间占位、设计内部的协调、设计与制造的协调以及供应商设备安装位置及接口的协调等。例如,在打样设计中,可以通过轻量化的二级几何样机取代传统的物理样机进行设计协调性检查,通过区域过滤和干涉检查、运动机构分析等方法快速发现系统设备与结构干涉等问题。

(3)三级几何样机。

三级几何样机面向详细设计及后续的工艺和生产试制,主要支撑面向制造的产品设计,包括结构零组件细节设计、管路联接件设计和线束设计等。三级样机充分考虑设计制造之间的并行,通过成熟度控制的工艺预审查和初步工艺路线定义,使得工艺设计和工装设计过程提前介入。例如,在工程研制阶段,基于三级几何样机开展总体、结构和系统之间的在线关联设计,同时可以基于设计模块开展工艺预审查和初步工艺路线定义。

2 性能样机

飞机数字化性能样机是借助相关的标准、规范、工具、流程和平台建立的,能够实现各专业在飞机研制各阶段进行整机、系统、分系统的性能定义、分析、评估、优化、交联和展示的数字化飞机。

(1)一级性能样机。

一级性能样机面向概念设计和初步设计,主要支撑整机及关键部件

(系统)的性能定义、分析评估、多方案权衡以及多学科优化等,包括布置/布局优化、CFD 计算、功能及安全性分析等。例如,通过总体、结构和强度专业性能样机模型和仿真流程的关联,开展多专业协同仿真;通过飞机系统架构和 ICD 对不同子系统原理模型进行虚拟集成,开展多系统架构级综合仿真验证,为子系统和设备技术指标的确定和系统方案整体最优提供支撑。

(2) 二级性能样机。

二级性能样机面向详细初步设计,主要支撑各系统、分系统(零部件)的指标分配和性能分析,包括结构布置优化、复合材料分析优化、大部件有限元分析、系统功能级建模与仿真等。例如,基于二级性能样机,可以对各供应商交付的设备或子系统 C 型件模型进行虚拟集成,通过供应商联合仿真及时发现设计缺陷,并逐渐用交付的真实 C 型件柔性替换仿真模型,通过半实物仿真的方法不断逼近真实性能指标。

(3) 三级性能样机。

三级性能样机面向详细设计及后续的工艺和生产试制,主要支撑各结构件的细节分析和参数优化、全机有限元分析、系统瞬态特性分析、装配工艺仿真、虚拟现实仿真等。例如,通过对供应商交付的设备或子系统 S 型件模型的虚拟集成可以构建三

级性能样机,并开展全机多系统性能级虚拟集成验证,减少和简化后期的物理试验。

结束语

技术创新和工程实践相辅相成。从 CAD、CAE 到数字样机技术的每一次进步都带来了设计思想、设计流程和设计手段的进步,产生了显著的工程效益。随着数字样机技术与型号研制业务的深入融合,数字样机的内涵和外延也不断拓展,必将推动型号研制数字化应用水平迈上一个新的台阶。

参考文献

- [1] 郑晓曦,孙国正. 虚拟样机系统[J]. 计算机工程与应用, 2005(1):25-28.
ZHENG Xiaoxi, SUN Guozheng. Virtual prototyping system[J]. Computer Engineering and Applications, 2005(1):25-28.
- [2] 刘看旺. 全三维研制技术推动飞机研制体系变革[J]. 航空制造技术, 2011(1/2):78-82.
LIU Kanwang. Full three-dimensional technology promotes revolution of aircraft development system[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011(1/2):78-82.
- [3] 朱龙. 计算机辅助工程(CAE)技术的应用及其新发展[J]. 机械制造与自动化, 2004(6):22-25.
ZHU Long. The new development and application of computer aided engineering[J]. Machine Building & Automation, 2004(6):22-25.
- [4] 杨鼎宁. 计算机辅助工程(CAE)及

其发展[J]. 力学与实践, 2005(3):35-37.

YANG Dingning. The development of computer aided engineering[J]. Mechanics in Engineering, 2005(3):35-37.

[5] 高利,迟毅林. 虚拟产品开发中的虚拟样机技术和数字样机技术[J]. 机械研究与应用, 2005(5):6-8.

GAO Li, CHI Yilin. Technologies of virtual prototyping and digital mock-up in virtual product development[J]. Mechanical Research & Application, 2005(5):6-8.

[6] 张毅,刘琳娟. 虚拟样机技术支持研究[J]. 现代制造工程, 2002(10):19-22.

ZHANG Yi, LIU Linjuan. Research on supporting technologies of virtual prototyping[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2002(10):19-22.

[7] 郑朔方,王俊彪. 飞机数字样机研制规范化解决方案[J]. 航空制造技术, 2003(9):63-65.

ZHENG Shuofang, WANG Junbiao. Solution of the standard system for development of airplane digital mock-up[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2003(9):63-65.

[8] 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):20-21.

NING Zhenbo. Application of digital mock-up in aircraft design[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2002(10):20-21.

[9] 郑党党. 飞机数字化性能样机技术及体系研究[J]. 航空科学与技术, 2015(5):18-21.

ZHENG Dangdang. Research on the technology and system of behavior digital mock-up[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015(5):18-21.

DMU Technology of Aircraft Design

ZHENG Dangdang¹, ZHANG Zhiguo², LIU Juntang¹

(1. AVIC the First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China;

2. China International Engineering Consulting Corporation, Xi'an 710089, China)

[ABSTRACT] Developing from CAX to digital mock-up is a leap of digital technology. The evolution and development course of digital mock-up is introduced. The influence of digital mock-up technology on aircraft design process is also analyzed. And then the concept and usage of geometric digital prototype and behavior digital mock-up in aircraft design are stated.

Keywords: Virtual prototype; Digital mock-up; Geometric digital prototype; Behavior digital mock-up

(责编 李丹)

浅析大飞机数字化设计与制造技术

谢 剑¹,李正强²,黄 帅²,乔文峰²

(1. 上海飞机设计研究院飞控部,上海 200436;

2. 上海飞机设计研究院民用飞机模拟飞行国家重点实验室,上海 200436)

[摘要] 大飞机工程是一个国家具有战略性的高技术产业链,而数字化技术在大飞机设计制造过程中的应用有效推进了大飞机的设计制造进程。论述了大飞机数字化技术的几个典型特征,并从设计制造的9个方面浅析了数字化技术在大飞机设计制造中的应用,涵盖了大飞机设计制造的大多数领域。展望未来数字化技术将会越来越深入地融入到大飞机设计与制造的每个角落。

关键词: 大飞机;数字化;全三维;设计;制造

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.05.087



谢 剑

工程师,工学博士,毕业于上海交通大学机械动力工程学院,现工作于上海飞机设计研究院,从事大飞机高升力系统的设计研发验证工作。

大飞机工程是一个国家具有战略性的高技术产业链,所涉及专业之广,运用技术之新远远超过其他行业,是现代化科技技术高度集成化的系统性工程,也是衡量一个国家科技工业水平乃至综合国力的标志之一。我国已经多次从战略级高度看待并定义了大飞机产业,目前,国产支线飞机均取得里程碑进程,虽然近年来我国大飞机产业迅猛发展,但是大飞机事业仍然任重而道远,多方位技术的攻关仍在进行中。

数字化技术是以计算机软硬件、周边设备、协议和网络为基础的信息离散化表述、定量、感知、传递、存储、处理、控制、联网的集成技术^[1]。大飞机的数字化设计与制造利用现代计算机技术和信息技术,建立一系列数字化描述空间并在其中进行设计与制造。其实质是建立数字化模型,完成设计与制造过程的数字化^[2-4]。本文概括介绍大飞机数字化技术的特征,以大飞机的数字化技术需求为背

景,对目前数字化技术在大飞机设计与制造中的应用进行分析。

大飞机数字化技术特征

1 研制方法的本质改变

数字化设计技术的引入使得飞机研制方法从早先的基于物理实体样机的方式转变为基于三维数字样机的方式。早期的飞机传统研究过程大致可分为4阶段:概念设计、初步设计、详细设计和生产制造。4个阶段中,飞机主机商均需要通过制作真实缩比例物理样机来验证飞机设计的准确性,研制过程是串行的,前面一阶段未完成验证,无法继续开展下一阶段的设计改进工作^[5]。

而在现代大飞机研制过程中,传统的物理样机和模线已经被数字化的三维数字样机所替代,跨部门和跨专业协调设计可以方便实现,研制过程可以并向进行。目前,国产大飞机采用自主知识产权的全三维数字样机设计,飞机所有结构部件和系统设

备均通过构型项挂接三维数字样机平台,通过对整个平台的数字化管理与检查,相关专业可以很清晰地得到目前设计的各项数据,如设备结构距离、干涉情况、过于靠近情况,并对检查结果进行评估以及时改进设计,极大缩短了协调设计周期;并且全三维数字样机贯穿研制过程多个阶段,从概念设计至生产发图阶段持续有效并进行改进。

2 贯穿整个飞机研制过程

数字化的技术贯穿了整个大飞机研制过程。从横向看,多学科多专业多合作单位借助数字化平台充分整合起来,所有设计制造数据通过数字化设计工具高效地流转传递;从纵向看,数字化技术贯穿了整个大飞机的设计研发制造流程,各个阶段都借助于数字化工具极大地提高了研制效率,甚至说,数字化技术在大飞机研制的某个阶段产生革命性的颠覆影响。详细论述见本文后续关于大飞机设计制造技术的各方面应用。

大飞机具有自主知识产权的全周期数字化技术与平台、数字化定义与工具的使用贯穿整个飞机的研制阶段,从方案论证阶段至详细设计阶段,再到工程发展、试验取证阶段,直至大飞机的交付,处处展示了数字化技术的魅力和效率,数字化技术贯穿了整个产品研制过程。

3 向全三维技术发展

如今的主流设计数模建模较为广泛地使用三维建模手段,大飞机产业中国内外使用较为广泛的三维数模建模软件有 CATIA、Pro/E、UG 等。传统三维数模建模软件可以对零部件进行精确的几何建模,使用各种算法有效生成飞机舵面、翼身整流罩等复杂曲面的外形,但是所构成的三维数模无法集成各类工艺信息,因此设计人员需要使用投射模块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直接表述。而且,传统的三维建

模中,零件关键部位的放大剖面图也无法表示。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,更需转化为二维图纸以加入更多的非几何信息和放大剖面图。这种分离的二次图纸管理,往往会产生二次错误风险,可能难以保证数据的一致性^[5]。

而全三维技术则是在传统三维建模软件中进行二次开发,进一步加入多项功能,让设计员可以直接在三维数模中直接加入各种非几何信息和直接设计意图,如公差和粗糙度的要求、设计工艺的改进、润滑油信息、倒角如何处理等。无论是飞机设计人员,或是负责生产装配的工厂人员,均使用同一份全三维技术模型传递所有工程信息,极大地缩短了飞机研制生产周期,节省了飞机研制生产成本。

从我国研制的两款喷气大飞机可以清晰地看到上述发展转变的脚步,某商用支线飞机在初步设计阶段和详细设计阶段初期所建立的飞机数据模型均为三维实体模型,而到详细设计后期与工程发图阶段设计人员均将三维实体模型转化为二维图纸模型并将各类工艺制造信息标准在二维图上传递至生产装配工厂,这增加了模型构型管理项,增加了转化环节,并造成设计与工厂沟通过程中部分信息的脱节遗漏。而后大飞机从概念设计初始便定义了采用全三维数字技术,生产数据的发放均通过三维模型执行。设计人员和生产人员可以从全三维模型中得到所有的工程信息,极大地提高了各参研单位、部门之间协调的效率,降低了飞机研制费用,缩短了飞机研制周期。

数字化设计制造技术应用

1 方案设计与决策

大飞机方案设计与决策的数字化技术通过使用计算机辅助飞机总

体设计软件工具并结合大飞机自身运营特点,围绕安全性、经济性、舒适性和环保性的要求,开发出有特色的先进软件系统,为方案设计与决策阶段的工作提供支持;数据化软件系统集成分析市场中心、相关咨询机构和民航局各类行业运营和市场分析报告,提出具体飞机的性能要求和主要技术需求,在此基础上形成一系列的基础方案,然后通过对方案的各类调研和综合分析,持续完善方案;通过软件综合评估对比各类方案信息,支持总设计师系统选定最佳的初步总体方案,并确定“型号设计要求”。

2 综合设计与工程发展

综合设计与工程发展中的数字化技术主要应用于大飞机总体方案论证阶段的初步设计和研制阶段的详细设计,其目的是通过使用一系列数字化工具与方法提升上述两个阶段的综合设计能力。客观要求是基于一个基本总体方案,综合运用各类数字化定义工具与方法(图1),协助飞机总体设计与布置人员高效进行飞机的总体布置与设计,各个系统专业设计人员进行结构部件和系统部件的三维数字化模型布置,反复协调完成全机三维数字化电子样机,在三维数模中集成各类工艺信息和设计意图,发放工厂。在初步设计和详细设计中,主干线为全机数字化定义的不断推进;次支线为全机各专业部门通过协同对不同的部件和分系统开展设计,形成了一系列数字化设计分系统,如总体气动设计分系统、结构强度设计分系统、动力推进系统设计分系统、机械系统设计分系统、电气系统设计分系统等。各个分系统开发或者配置不同的数字化设计软硬件,分系统之间通过核心处理系统相连,核心处理系统负责将各个分系统的设计实时地综合到服务器的全机三维数模中,通过对核心处理系统的操作可以实时地调动全机的电子

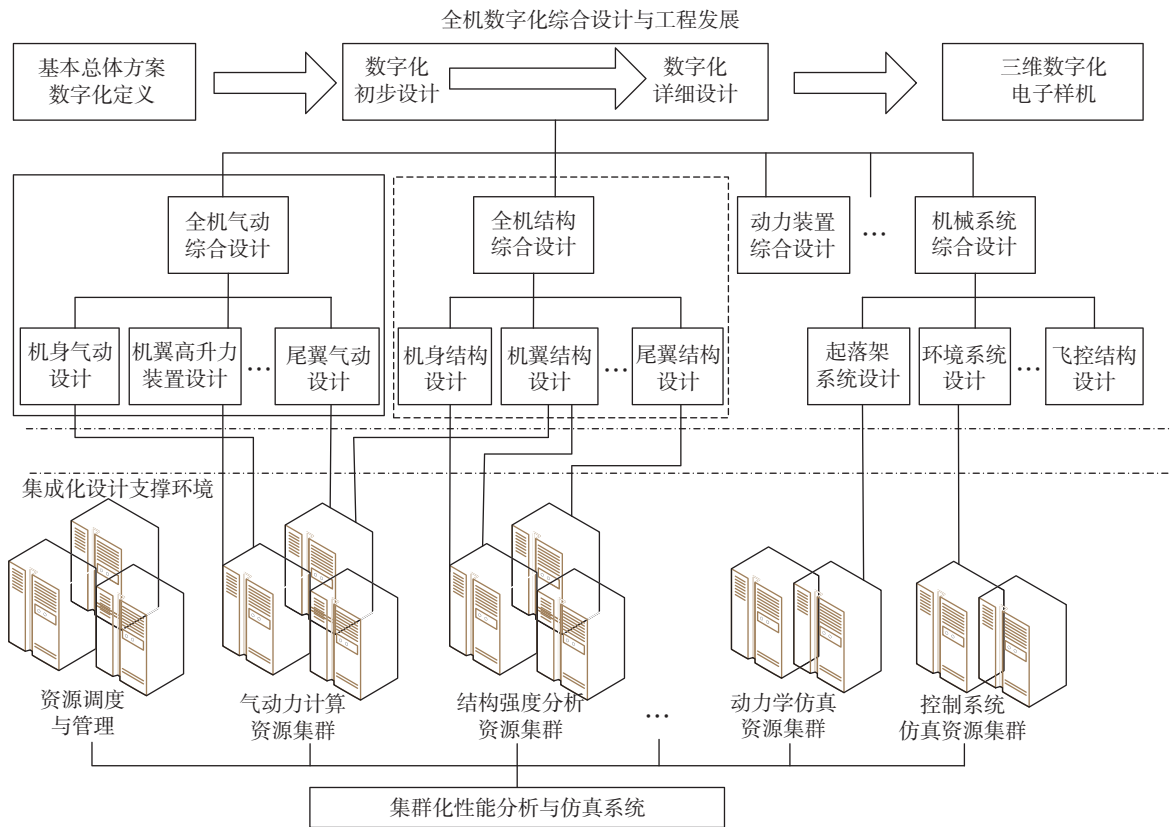


图1 大飞机综合设计与工程发展的数字化技术流程

Fig.1 Digital technology procedure of general design and engineering development for large aircraft

样机^[1]。

3 性能分析与仿真

大飞机的气动外形设计、结构强度设计、系统性能设计等都需要借助于功能强大的工程化、数值化性能分析和仿真软件。飞机设计员通过初步的比较经济的数字仿真结果来验证需求是否被满足以及相关设计是否可以被改进。如在初步设计和详细设计阶段,需要精确地分析全机的气动特性、结构和各系统部件重量特性、飞机的操稳飞行品质、结构强度验算等,进入工程发展阶段需要在系统试验之前通过仿真来分析验证系统部件的设计性能,对于大飞机而言,目前噪声仿真分析也成为其仿真分析中的重要组成部分。

在大飞机性能分析与仿真过程中,计算流体力学、结构有限元分析等软件已经是常用工具,但其消耗巨大的计算资源和时间,而且价格比较昂贵,因此可以创新性地应用它们,

例如将它们集中在配置较高的计算机硬件上,并通过专业软件进行管理和调度,形成集群化的优势。

4 试验试飞

大飞机试验从学科专业角度来分包括各类气动试验、强度试验、结构试验、系统试验工程模拟器试验、试飞试验等,从适航验证角度来分包含MOC4(铁鸟)试验、MOC5(机上地面)试验、MOC6(试飞)试验、MOC8(工程模拟器)试验,还包括供应商的各类MOC9(部件鉴定)试验。大飞机试验的开展一方面是为了验证方案和设计是否能够满足设计要求,另一方面是为了向局方表明飞机的设计可以满足适航条款。上述如此繁多的试验必然产生大量的数据,各试验单位和提出专业一般有自成体系的一套数据采集处理工具,如果设计过程中引入中心试验信息管理系统,对所有试验数据综合存储、管理,可以极大增加试验数据的处理利

用效率。

如图2所示,大飞机试验中引入中心数据库,集中地管理设计单位提出的试验任务书、试验部门和合作试验供应商传回的试验数据、分析报告等相关信息。各相关专业通过试验核心管理平台可以高效调用各类数据,尽快处理分析试验结果,优化设计^[1,6]。

5 营运与制造

虚拟现实营运和制造仿真技术利用数字化软硬件,模拟大飞机营运中的典型参数如客舱参数、应急疏散参数、地面维护保障参数、总装环境等(图3),通过对飞机与人员、机场设施、制造车间等外部环境的沉浸式仿真,在设计早期就能以很低的代价验证设计方案能否满足营运过程和制造过程中的相关要求,提高大飞机的安全性、经济性、舒适性和可靠性。

虚拟现实仿真提供了基于计算机三维数字电子样机的高度仿真,

并获得了工程模拟器才可以达到的高度人机交互,它集成了设计方、维修方和客户的交互平台,可以在虚拟的环境下进行维护、训练和验证;而且,随着计算机能力的提升,虚拟场景可以更加逼真地模拟制造和营运过程中出现的任何人员和环境,仿真结果对整个方案的评价更有说服力。

6 知识管理

大飞机的设计与制造是一个超级复杂的系统工程,研制过程中必须尽可能使各阶段的工作规范化、标准化,以保证型号的成熟度并提高在局方以及公众心中的认可度。知识管理中的数据化技术主要体现在以下几个方面:

(1)有效收集、管理国内外已有的设计资料及数据(如各个机型的CMM、AMM、设计参数等)、以往设计过程中出现的问题(如专家评审中的问题,系统PDR/CDR中的问题)和解决方法,将解决归零报告及时电子归档,以便后续参考使用。目前具有两个型号的数据使用平台,所有技术文件均通过平台完成电子签审发布和归档。

(2)建立大数据库统一管理研制过程中的各类海量标准规范和手册并用于指导设计,使飞机设计研制有据可依,并使飞机能够更加紧跟国际先进标准的步伐,更好地满足了各方面的要求。

(3)管理基础性设计资源,例如发动机、机载设备、座椅、机上设施等。建立可扩展数据库,不断丰富完善其中数据,以方便需要时调用。

7 适航取证

适航取证是大飞机区别于其他飞机的主要特点,也是一大技术难点。适航取证中的数字化技术主要借助于数字化平台,与知识管理相结合建立大适航取证数据库,通过使用大平台可以方便调用适航取证系统的条例库,查询某型号所用条例的细则、相关的咨询通告等,并将历次接

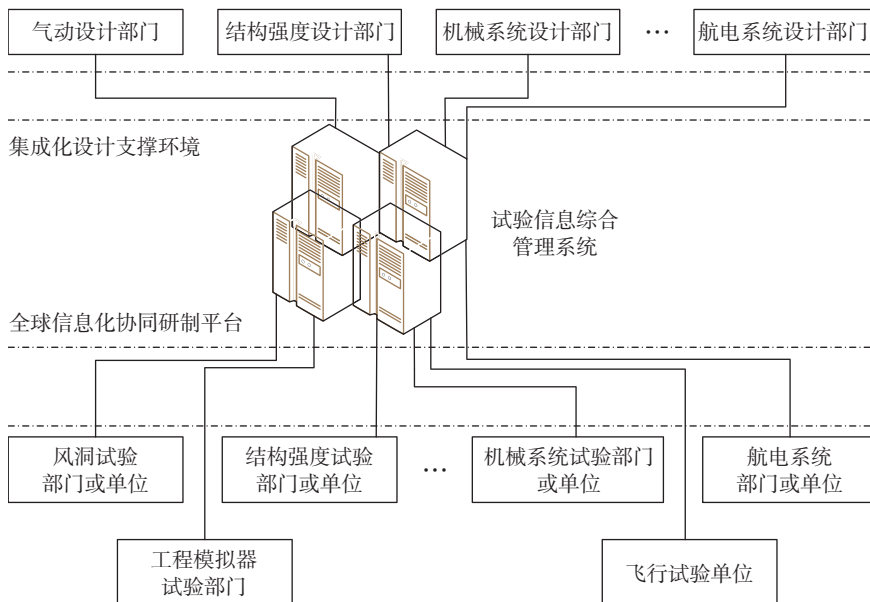


图2 大飞机试验综合管理中心数据库应用管理

Fig.2 Database application management of general management center for large aircraft test

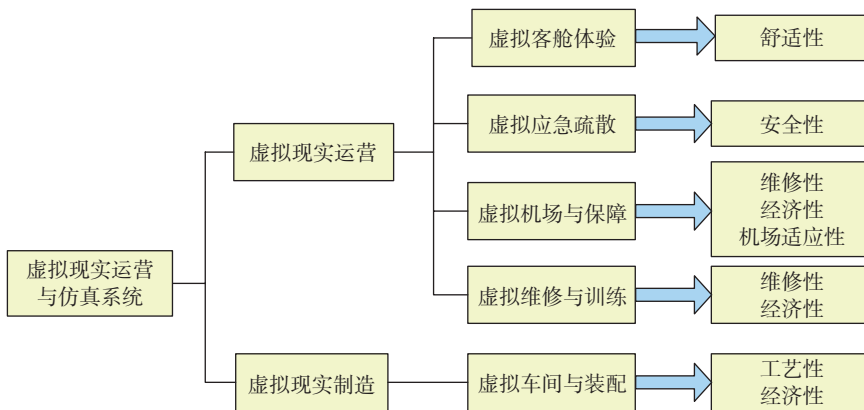


图3 大飞机虚拟营运与制造仿真应用

Fig.3 Virtual operating and manufacturing simulation application for large aircraft

收局方审查资料统一组织管理,相关问题描述作标签提示,以便后续型号参考利用。

8 项目管理

数字化技术除了给大飞机设计与制造提供研制过程中的技术层面支持外,还应提供项目管理的支持应用。大飞机研制过程中,数字化的项目管理系统对于建议高效化、流程化的集成管理意义十分重大。近年来工业制造中应用较为广泛的企业资源计划管理系统(ERP)能够对企业的人力资源、财务成本、综合保障、资产整合等企业职能全方位管理,极大提高了企业资源管理能力。

大飞机的数字化管理系统可以基于上述成熟的ERP,如有必要进行二次开发,使得各个系统的功能更加紧密地服务于大飞机设计的各个环节。

大飞机数字化项目管理系统中期待建议如图4中的5个基本管理模块,分别为项目规划与控制子系统、项目资源管理子系统、质量管理子系统、合作事务管理子系统和指令与审核支持子系统。项目规划与控制子系统主要为新飞机项目设计,它的作用为规划整个项目的关键节点和主要进度,并根据已经规划好的节点控制各参研部门或IPT团队的研

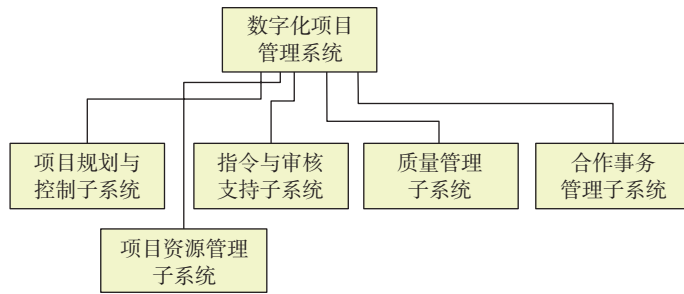


图4 数字化项目管理系统的组成

Fig.4 Composition of digital project management system

发进程；项目资源管理子系统主要用于调用分派飞机设计制造过程中的各类资源，包括人力资源、设备资源等，针对具体大飞机型号建立 IPT 团队并为 IPT 团队分配具体的人力资源，实施过程中根据项目进度智能地适当增加或者减少资源控制人力成本；质量管理子系统建立完整的质量数据库，管理型号研制过程中各类评审或者质量自查、复查产生的质量事件并及时通知设计人员协调解决关闭；合作事务管理子系统对合作供应商或者制造商的相关活动和事务进行管理，存储各类供应商提交的设计资料和数据，向供应商发放设计要求文件和相关数模等；指令与审核支持子系统集成总师决策系统指令平台，提供设计部门相关执行行动项关闭接口。

9 制造过程

传统飞机制造过程中尺寸传递仍大量采用模线样板法，它借助具有特定形状和尺寸的专门模具，使飞机设计图纸中的形状和尺寸能够准确传递到零件上。该方法的缺点是会产生误差的累积叠加，各个环节的尺寸误差均可能反映到最终的零件上，而为了控制最终零件的误差，一方面，设计人员可能对单个零件的尺寸公差要求得特别严谨，超过了生产单位的技术能力；另一方面，如果设计人员放松了单个零件的尺寸公差，巨大的积累误差可能造成飞机部装和总装的困难，造成某些部件无法装配或者强行装配后产生巨大的应力，不

能满足疲劳强度要求。

大飞机制造过程中数字化技术期望贯穿设计制造的整个上下游，是对整个飞机进行的并行协同定义、建模和仿真。全三维数模技术的应用避开了三维数模生成二维图纸的环节，使得三维数模数据从设计上游无缝传递到制造下游，具体的应用中可以期望将这些三维定义数据直接与制造车间的数字化加工设备相连，并与检测设备接轨，实现设计数据与制造参数之间的精确对接^[5-9]。

结束语

大飞机的数字化设计与制造是大飞机高科技含金量的体现，是信息技术和大飞机工程有机结合的具体应用。数字化技术将会越来越多地体现在大飞机设计的更多环节，如大飞机飞控系统数字化设计技术、大飞机气动外形数字化设计技术、大飞机数字化高集成化装配等。随着信息技术的发展和计算机处理能力的提高，数字化技术会引起大飞机设计集成的创新、生产制造的自动集约化，必将推动大飞机工业产生革命性的巨变，引领航空工业迈上新的台阶。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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):20-21.
- [3] 徐光明. 数字化技术在超七飞机研制中的应用 [J]. 中国制造业信息化, 2003(6):53-54.
- [4] 周祖德, 李刚炎. 数字制造的现状与发展 [J]. 中国机械工程, 2002,12(6):531-533.
- [5] 于勇, 范玉青. 飞机构型管理研究与应用 [J]. 北京航空航天大学学报, 2005,21(3):278-283.
- [6] 杨玺, 范玉青. 飞机构型控制技术初探 [J]. 北京航空航天大学学报, 2000,16(3):357-360.
- [7] 任晓华. 美国信息化带动航空工业发展实例 [J]. 航空制造技术, 2003(11):23-25.
- [8] 飞机设计手册总编委会. 飞机设计手册—民用飞机总体设计 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2005.
- [9] 姜国华. 虚拟现实技术及在航空航天中的应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.

Sinica, 2008,29(5):1386-1394.

[2] 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):20-21.

NING Zhenbo. Application of digital mock-up in aircraft design[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2002(10):20-21.

[3] 徐光明. 数字化技术在超七飞机研制中的应用 [J]. 中国制造业信息化, 2003(6):53-54.

XU Guangming. Application of digital technology in aircraft development[J]. Manufacturing Information Engineering of China, 2003(6):53-54.

[4] 周祖德, 李刚炎. 数字制造的现状与发展 [J]. 中国机械工程, 2002,12(6):531-533.

ZHOU Zude, LI Gangyan. On state and development of digital manufacturing[J]. China Mechanical Engineering, 2002,12(6):531-533.

[5] 于勇, 范玉青. 飞机构型管理研究与应用 [J]. 北京航空航天大学学报, 2005,21(3):278-283.

YU Yong, FAN Yuqing. Study and application of aircraft configuration management[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2005,21(3):278-283.

[6] 杨玺, 范玉青. 飞机构型控制技术初探 [J]. 北京航空航天大学学报, 2000,16(3):357-360.

YANG Xi, FAN Yuqing. Pilot study of aircraft configurations control[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2000,16(3):357-360.

[7] 任晓华. 美国信息化带动航空工业发展实例 [J]. 航空制造技术, 2003(11):23-25.

REN Xiaohua. Informatization driving development of American aviation industry[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2003(11):23-25.

[8] 飞机设计手册总编委会. 飞机设计手册—民用飞机总体设计 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2005.

Aircraft Design Manual Editorial Board. Aircraft design manual—civil airplane conceptual design[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2005.

[9] 姜国华. 虚拟现实技术及在航空航天中的应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.

JIANG Guohua. Virtual reality technology and its application in aeronautics and astronautics[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2007.

Digital Design and Manufacturing Technology Analysis on Large Aircraft

XIE Jian¹, LI Zhengqiang², HUANG Shuai², QIAO Wenfeng²

- (1. Flight Control Department, Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 200436, China;
2. State Key Laboratory of Civil Aircraft Flight Simulation, Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 200436, China)

[ABSTRACT] Large aircraft program is high-tech industry with national strategy. Digital technology application in large aircraft has greatly promoted the design and manufacturing procedure of large aircraft. The paper describes several typical features of large aircraft digital technology and analyzes the digital technology application in large aircraft design and manufacturing from 9 aspects which cover most areas in large aircraft design and manufacturing. Digital technology will be more and more applied into every corner in large aircraft design and manufacturing in the future.

Keywords: Large aircraft; Digitalization; Full 3D; Design; Manufacturing

(责编 李丹)

(上接第 72 页)

Status and Development Trends of Polymer Matrix Composites on Advanced Aeroengine

CHEN Wei

(AVIC Commercial Aircraft Engine Co., Ltd., Shanghai 201108, China)

[ABSTRACT] This paper introduces the development and applications of advanced polymer matrix composites on aircraft engine at home and abroad, discusses the problems in the development of domestic polymer matrix composites. Finally, the problems to be solved urgently, such as raw material, low cost technology, design system and tools, airworthiness requirements are also discussed.

Keywords: Polymer matrix composite; Aeroengine; Fan casing; Fan blade

(责编 李丹)

(上接第 77 页)

XU Jinmei. Study on processing technology of large thin wall casing[J]. China New Technologies and Products, 2012(18):118.

[7] 山高刀具(上海)有限公司. 航空发动机机匣加工解决方案[J]. 航空制造技术, 2014(12):102-103.

Seco Tools (Shanghai) Co. Ltd. Solution for processing aeroengine casing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014(12):102-103.

Research on Key Technology of Aeroengine Casing CNC Machining

REN Junxue¹, TIAN Weijun¹, YAO Changfeng¹, LIU Zhiwu²

- (1. Key Laboratory of Contemporary Design and Integrated Manufacturing Technology, Ministry of Education, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;
2. AVIC Xi'an Aero-Engine (Group) Ltd., Xi'an 710124, China)

[ABSTRACT] As the key component of aeroengine, it is difficult to guarantee the casing machining quality because of the complicated shape and structure. In this paper, through analyzing the structural characteristics of the casing, the technical difficulties in processing and manufacturing, a set of multi-axis CNC machining process is proposed, which effectively solves the problem of the quality and efficiency of aircraft casing processing. The process method has certain reference function and popularization value for the CNC machining of aerospace thin-walled parts.

Keywords: Thin-walled component; Casing; Process parameter; CNC machining

(责编 李丹)