

数字孪生技术在飞机设计验证中的应用

陆清^{1*} 吴双¹ 赵喆¹ 周凡利²

(1. 上海飞机设计研究院, 上海 201210; 2. 苏州同元软控信息技术有限公司)

摘要:

随着工业 4.0 技术的发展,数字孪生技术正在不断渗透到工业生产和新产品研发的各个领域,并为新产品研发带来综合性能整体优化、研发成本降低、研制周期缩短等优势,是提升新产品市场竞争力的重要手段。在现代民用飞机研发过程中,从型号需求、初步定义、详细设计、生产试制、试飞取证和运营维护等产品全生命周期内,都可以利用数字孪生技术,实现虚拟和物理的无缝对接,尤其在飞机设计验证方面,更可以做到更优、更广、更快、更省。然而,在我国民用飞机研制项目中,还未形成数字孪生应用体系。本文通过对飞机架构模型设计、多模型构架集成以及模型参数辨识和验证几个方面,对数字孪生技术在飞机设计验证过程中的应用技术进行了探讨。经研究发现,数字孪生技术对飞机型号研制各阶段的设计验证,尤其是集成试验验证提供了重要的指导作用和技术支持,为民用飞机适航验证和运维服务提供了更快、更经济、更强有力的支持与保障。

关键词: 飞机;数字孪生;集成试验;数字仿真

中图分类号: V249

文献标识码: A

OSID:



0 引言

数字仿真现已作为新产品开发(NPD)的关键使能因素,同时也是工业 4.0 的关键使能技术。近期,得益于计算机软硬件性能提升、成本降低,加之人们对产品物理属性有着更加深刻的理解,并更加愿意在新产品开发过程中使用新的技术与手段,数字仿真相关技术的创新不断取得进步并对新产品前端开发起到显著影响。相关机构对当前技术发展趋势研究表明,仿真技术可应用于产品全生命周期管理,包括从概念提出、设计研发、加工制造一直到运营及维护。基于上述研究,我们可以预测数字仿真技术在未来的应用必将更加具有广泛的实用性,与此同时数字孪生技术的应用也将得以实现。数字孪生技术在新产品研发过程中,可以实现:大处着眼,小处着手,逐步但迅速地进行扩展。

数字孪生(Digital Twin)是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据,集成多学科、多物理

量、多尺度、多概率的仿真过程,在虚拟空间中完成映射,从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程^[1]。通过对产品进行建模分析,依据曾经发生的问题,对模型进行优化升级,结合产品运行场景,模拟各种可预测的可能性,进行虚拟分析,针对产品全生命周期,提供全面的技术支持。

美国密歇根大学 Michael Grieves 教授,于 2002 年在所讲授的 PLM(产品生命周期管理)课程中引入了“镜像空间模型”(后又改称为“信息镜像模型”)的概念。2011 年,这一概念在《Virtually Perfect》一书中得到了极大地推广,文章的合著者开始将这一概念模型称之为“数字孪生”,“数字孪生”的概念正式诞生。自数字孪生概念提出之后,经过短短十几年的研究探索,数字孪生技术已引起各方面的广泛关注。数字孪生技术的发展如图 1 所示。

目前,数字孪生技术已经得到各产业界的高度关注,并已开始在新产品设计、验证、制造和市场服务等多方面进行了探索性应用。

* 通信作者. E-mail: luqing@comac.cc

引用格式: 陆清,吴双,赵喆,等. 数字孪生技术在飞机设计验证中的应用[J]. 民用飞机设计与研究,2019(3):1-8. LU Q, WU S, ZHAO Z, et al. Application of Digital Twin Technology in Aircraft Design Verification[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2019(3):1-8(in Chinese).

在 2010 年, NASA 已经开始将数字孪生运用到下一代战斗机和 NASA 月球车的设计当中。美国国防部、PTC 公司、西门子公司、达索公司等都在 2014 年接受了“Digital Twin”这个术语, 并开始在市场宣传中使用。

美国国防部提出利用 Digital Twin 技术, 用于航空航天飞行器的健康维护与保障。在数字空间建立真实飞机的模型, 并通过传感器实现与飞机真实状态完全同步, 这样每次飞行后, 根据结构现有情况和承受载荷情况, 及时分析评估是否需要维修, 能否承受下次的任务载荷等^[2]。

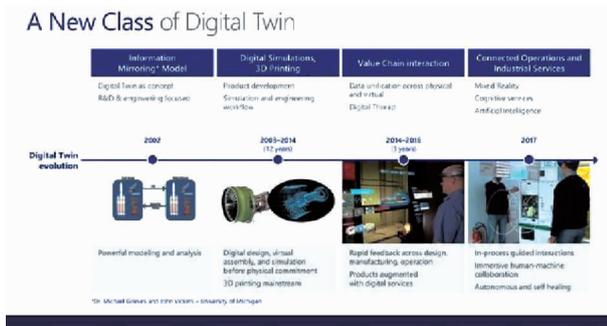


图 1 数字孪生技术的发展

工业巨头通用电气 (GE) 将数字孪生这一概念推向了新的高度, 借助 Digital Twin 这一概念, 实现物理机械和分析技术的融合。以喷气式航空发动机为例, 其昂贵且扮演关键角色的耐高温合金涡轮叶片, 是制造推力的主要零件。每个叶片上都安装了传感器, 这样就可以根据要求的频率传输实时数据。软件平台会将引擎的所有信息收集起来, 使之数据化, 并建立数字模型。

德国西门子公司也在积极推进包括数字孪生在内的数字化业务, 数字孪生已经被应用在了西门子工业设备 Nanobox PC 的生产流程里。

北京航空航天大学陶飞等提出了数字孪生车间的实现模式, 并明确了其系统组成、运行机制、特点和关键技术, 为制造车间信息物理系统的实现提供了理论和方法参考^[3]。

西安电子科技大学孔宪光等提出基于数字孪生的工业大数据分析论, 把物理实体业务抽象成图谱, 通过问题分解, 在数字孪生体内进行求解。

华龙迅达将数字孪生技术与三维虚拟仿真过程进行了有效融合, 实现了实体工厂与虚拟可视化工厂的动态联动, 从全要素、全流程、全业务角度进行

生产过程优化。

科大讯飞发布建设数字孪生城市计划, 使用人工智能技术, 打通城市规划、建设、运行的数据闭环。

1 数字孪生技术的特点

根据数字孪生技术的不断应用和发展, 经多方面总结, 具有规模性、互操作性、可扩展性以及保真性等四方面特点, 如 2 所示。

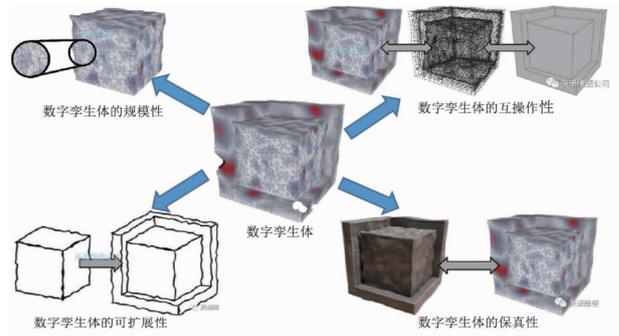


图 2 数字孪生体的特点

a) 规模性: 数字孪生体能够提供不同规模 (从细节到大型系统) 对数字孪生体的洞察力, 在结构上不丢失细节, 尽量映射物理孪生体的细微之处。

b) 互操作性: 数字孪生体能够在不同数字模型之间转换、合并和建立“表达”的等同性, 以多样性的数字孪生体来映射物理孪生体。

c) 可扩展性: 数字孪生体具有集成、添加或替换数字模型的能力, 如随时随处添加若干扩展结构。

d) 保真性: 描述数字虚体模型与物理实物产品的接近性。不仅在外观和几何结构上相像, 在质地上也要相像。

2 数字孪生技术在现代工业领域的应用

2.1 数字孪生技术对现代工业领域的影响^[4-11]

Gartner 公司预测, 数字孪生是 2019 年前十位的战略科技趋势之一, 具有广阔的发展前景。到 2021 年, 全球 50% 的大型工业公司将使用数字孪生, 将使组织的效率提高 10%。他们认为制造业和工程行业的公司, 如果想要保持活力, 就需要考虑数字孪生。

Aberdeen 集团则指出, 顶级公司以及机构通过使用数字孪生技术可在设计前期充分识别风险, 有效提升产品质量, 降低产品成本, 可节约 29% 的研发时间以及 27% 的样品开发成本。

与此同时国内外相关研究表明,数字孪生技术的发展与应用,将同时给我们带来巨大的机遇,主要包括:

a) 可以在新产品开发和新的收益渠道方面,进一步开拓市场机会;

b) 可以显著缩短上市时间;

c) 可以提升产品维护及操作程序。

因此,针对特定产品,如何把握数字孪生技术及其关键特性,制定明确实施策略,将数字孪生技术高效地应用于产品的研发和全生命周期管理,将对产品性能、安全以及市场竞争力产生巨大的影响,同时也是保证产品研发“快、优、省”的技术基础。

2.2 数字孪生技术在工业产品全生命周期管理中的应用

装备制造的相关技术,从来就是贯穿产品的全生命周期,即产品的设计、生产、销售、运行、维修保养、回收等全过程。利用数字孪生技术进行产品全生命周期管理,会大量运用到数字化制造和数据管理方面的相关技术。数字化制造的相关技术包括数控技术、CAD、CAPP、CAM、CAE、CAT、成组技术、MRP/MRP II等;数据管理方面的相关技术包括大数据技术、云计算、边缘计算,产品数据管理(PDM),产品全生命周期管理(PLM)等。

a) 产品设计(研发)阶段

利用基于模型定义技术(MBD),能够实现高效、标准的产品全生命周期各阶段数据定义及数字化表达,是实现数字孪生体构建的关键技术。MBD技术充分体现了产品的并行协同设计理念和单一数据源思想,而这也正是数字孪生体的本质之一。

产品定义模型主要包括两类数据:一类是几何信息,也就是产品的设计模型;另一类是非几何信息,存放于规范树中,与三维设计软件配套的PDM软件负责存储和管理该数据^[3]。

b) 产品制造阶段

在生产制造阶段,除了实现基于产品模型的生产实测数据监控和生产过程监控外,利用数字孪生技术,还可达到基于生产实测数据的智能决策与分析,实现对实体产品生产过程的动态控制与优化,达到虚实融合、以虚控实的目的^[3]。

c) 产品服务阶段

在产品服务阶段,通过数字孪生技术,可以对产品的运行状态进行跟踪和监控,并可根据产品使用

状态、使用和维护等相关记录数据,对产品的健康状况进行预测与分析,可以实现对产品潜在质量问题进行预警。

3 数字孪生技术在飞机级设计验证中的应用

3.1 飞机设计验证中的集成试验

飞机级集成试验面向飞机产品,集成全机系统物理/模型产品,在模拟或者真实飞机系统构型条件下,支持满足飞机飞控、液压、起落架、高升力、电源系统单独的研发试验和多系统集成验证试验,承担适航验证试验,服务于飞机产品取证、运营和系列化发展。

但是,传统的飞机级集成试验也面临一些挑战,主要有:(一)常规的物理试验测试验证滞后于设计过程,当设计构型冻结后才能提供合适的物理试验环境,设计缺陷往往在物理试验后才能发现。设计和试验的迭代周期长、成本高,严重拖延项目进度,造成项目风险较高;(二)由于条件限制,物理试验台试验能够分析的问题有限,无法完全模拟飞行包线内所有的飞行环境和飞行状态,一些安全隐患只有通过试飞甚至飞机运营后才能被发现,给飞机运营造成一定的潜在风险;(三)系统之间的交联耦合越来越复杂,导致综合集成测试验证的技术难度提高,成本加大,某些极限试验条件的试验环境具有高危性^[12];(四)面向飞机的集成试验系统,一般都采用一套物理试验件,试验样本量偏少,构型单一,以点代面的试验结果,对型号试飞和运行支持带有一定的片面性。

3.2 数字孪生技术应用于飞机级集成试验

在飞机设计验证领域应用数字孪生技术,构建多领域、多层级的复杂系统虚拟样机原型,据此将技术指标需求、总体方案框架、详细设计,算法的设计与软件代码实现,产品实现、系统综合测试连同围绕产品的各层级验证过程平滑无缝地联系在一起,从而开展各环节彼此之间的密切合作,及早发现产品研制各阶段潜在的缺陷并在产品研制的早期阶段予以处置和解决,避免由此而产生的巨大成本。

由于数字孪生技术可以从项目研制之初就启动,对比于常规的物理验证,可以达到“早试验、早发现、早优化”的目的。

另外,利用物理集成试验平台,辨识并修正系统

虚拟样机模型,提高飞机系统模型的置信度。虚拟和物理两种验证方式的并存,可以在飞机层面形成“纯虚拟”、“虚-实同步”和“虚-实融合”等三种试验方式,这样就有限的物理试验平台转变成完整的飞机,可以开展基于飞行任务场景的验证试验,同时,通过虚拟试验方式,可以针对飞机特定飞行环境或故障环境,完成以飞机为对象的物理试验所不能完成的试验任务。

“纯虚拟”试验方式:是贯穿飞机型号研制全过程,并随着型号研制阶段的向前推进,不断升阶完善的试验方式,始终支持型号研发,为型号各阶段工作带来技术支持,可以完成需求、系统架构设计、功能接口定义、物理接口定义、物理性能/信息/能量/流体设计等验证工作,并可以针对飞行任务场景开展集成试验验证和运维完善技术支持。它也是数字孪生技术在型号研发和全生命周期管理的终极目标,是实现飞机型号设计和验证智能化的基础。

“虚-实同步”试验方式:是以验证数字模型为目的的试验方式,可以涵盖系统附件、子系统和系统。

“虚-实融合”试验方式:主要是以弥补物理试验系统的局限性,即将物理试验系统没有的并与之相关联的其他系统,用数字孪生体的方式进行替代并与之叠加,使有限的物理试验系统得到更大的扩展,实现与飞机上真实使用更为逼真的试验方式。

图 3 所示,为数字孪生体、物理孪生体和飞机

之间的相互关系。

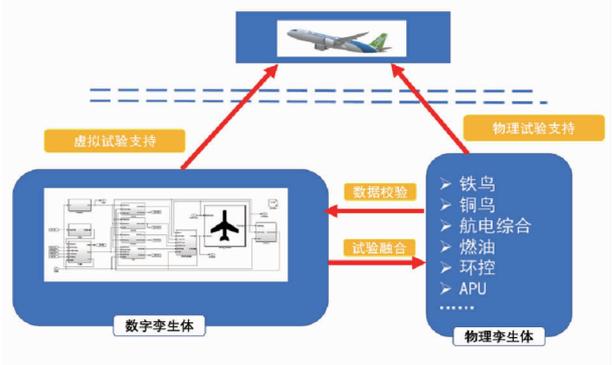


图 3 数字孪生体与物理孪生体及飞机的关系

3.3 数字孪生体在飞机型号研制过程中的升阶关系

飞机型号研发过程,是一个“需求捕获→概念设计→初步定义→详细设计→生产试制→试飞取证→交付运营”的过程,在每一个阶段,都有其特征和特殊的数学描述,都可以用数字孪生技术来表达,为了降低研制风险,加快型号成熟度,飞机数字孪生体也是要伴随着型号研制各个阶段而建立、升级、转换,以同步达到型号研制的目的。

针对不同研制阶段,按照阶段任务特点,其升阶逻辑关系如图 4 所示,具体表现在设计成熟度提升的验证和集成成熟度提升的验证两个方面。

3.4 数字孪生体的总体架构

为了满足型号研制不同阶段的验证需要,必须在型号研制之初,就着手同步建立基于数字化模型的验证体系,形成数字孪生体的总体架构如图 5 所示。

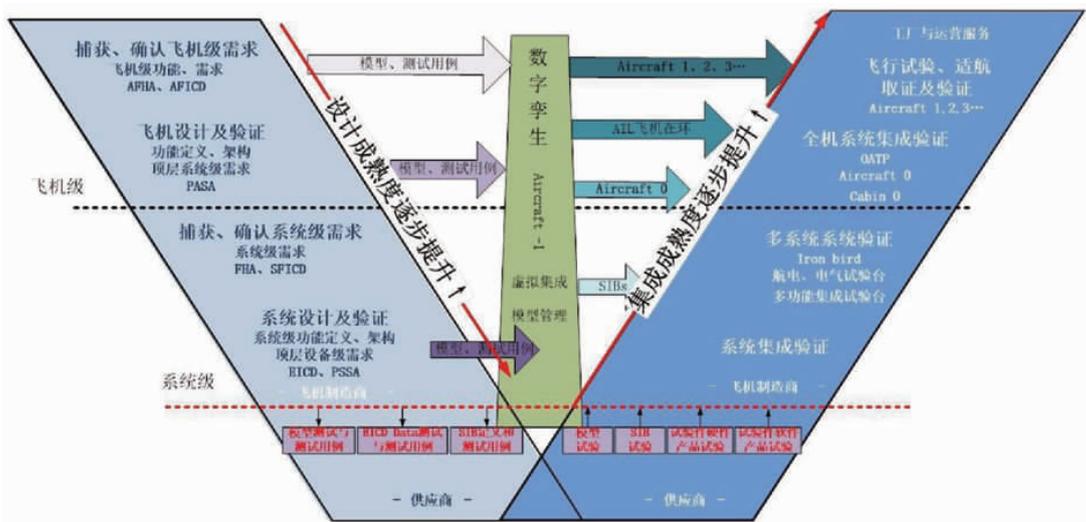


图 4 数字孪生在飞机历程的升阶关系

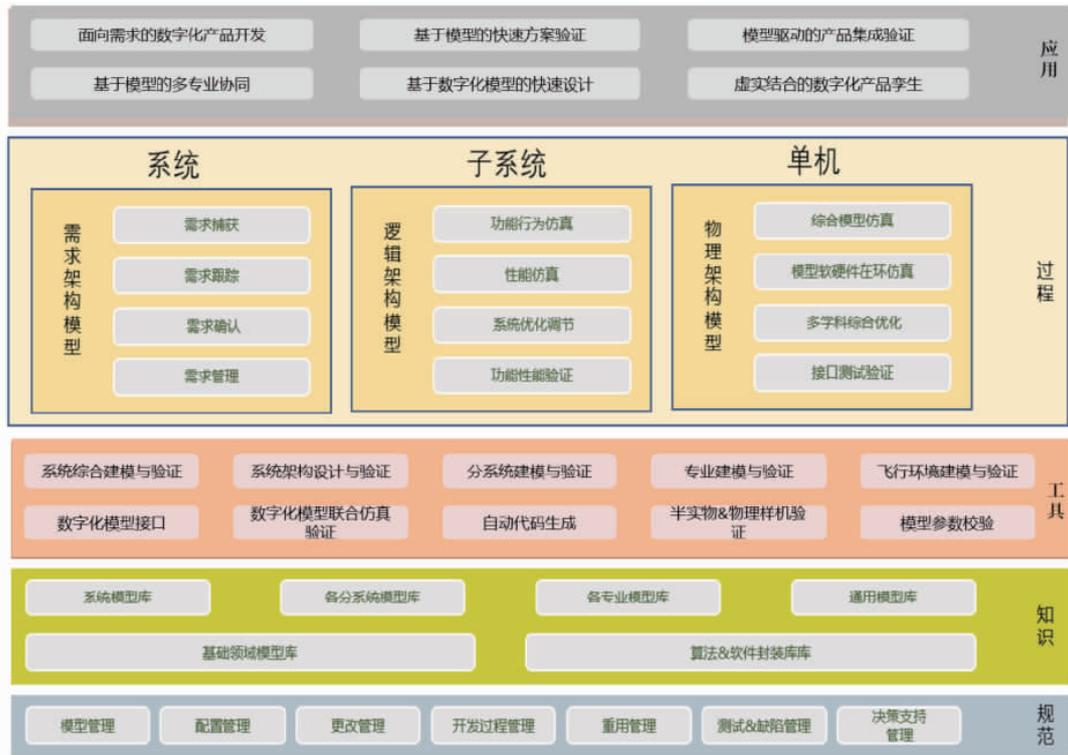


图5 数字孪生体总体架构

该体系架构中,必须包括规范、知识、工具、过程、应用等五个方面。

3.5 数字孪生体的模型开发和构建

基于数字孪生技术应用的虚拟样机模型开发,涉及虚拟样机构建、信号处理算法快速仿真验证、代码生成、联合仿真与系统综合实验等具体内容。飞机全系统虚拟样机将主要分为以下三个层级进行构建:

整机级:该层级样机主要用于对飞机整机的综合系统行为及性能进行建模和仿真,通过调用各分系统的模型及目标模型库和环境参数库(用于场景标定及虚拟)中的模型。

系统级:该层级样机主要用于对飞机的分系统进行行为及性能的建模和仿真,通过调用各分模块的模型及目标模型库和环境模型库中的模型。

子系统级:该层级样机主要用于对构成分系统的模块进行功能及性能建模和仿真,通过调用各专业室模型库中的现有功能及性能模型,以及各种算法库的算法。

图6表示了飞机数字孪生体模型和开发过程,左侧从上至下为项目研发的四个阶段,依次为预研及项目需求阶段、总体设计阶段、分系统设计与实现阶段和集成测试验证阶段。各阶段都基于虚拟样机来规

划产品开发项目并指导具体工作的进行,包括以虚拟样机描述需求、以虚拟样机设计算法、以虚拟样机自动生成代码及以虚拟样机进行系统仿真和系统综合测试等。

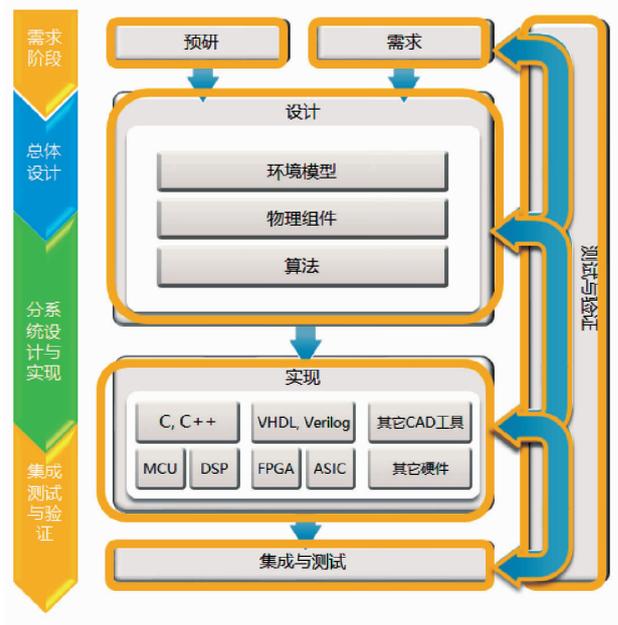


图6 基于虚拟样机的数字孪生技术开发过程

a) 项目需求阶段目标

建立一套初步的可执行的飞机级虚拟样机,使之与任务书给出的技术指标等需求逐项对应,从而保证通过各层级的虚拟样机确保各项需求的落实。

b) 虚拟样机总体设计阶段目标

进一步丰富和完善飞机级虚拟样机,并通过仿真验证确认在不同环境下系统总体设计结果可以满足任务书提出的系统各项技术指标要求。根据形成的飞机级虚拟样机,可以形成统一的从上至下的开发环境,保证模型架构和数据接口向下游专业传递。

c) 虚拟样机分系统设计与实现阶段目标

根据飞机级虚拟样机总体架构,开展各分系统的详细设计工作,并形成分系统逐步细化的虚拟样机,据此开展各分系统内部的仿真、跨系统联合仿真和产品实现工作。

d) 虚拟样机集成测试验证阶段目标

通过各层级细化的虚拟样机完成模型在环、软件在环、硬件在环等各类集成验证与测试工作,并开展基于虚拟样机的虚拟集成试验验证,从而切实保证最终交付的产品能够满足既定性能指标要求。

在上述过程中,复杂系统虚拟样机发挥着至关重要的作用并随着型号研制过程的开展而逐步细化和完善,并形成对飞机最终实物产品的数字化映射,实现基于数字孪生技术的飞机级集成试验验证新方法。

4 需要解决的几项关键技术

4.1 面向飞机级集成试验验证的数字孪生技术体系

建立整个基于数字孪生技术的虚拟工程样机的应用体系,该应用体系既包括相关软硬件工具的引入,也包括建模、验证确认、仿真分析等业务流程及标准规范的建立。只有这样,才能确保虚拟工程样机的应用工作融入到整个产品的研制过程中,成为整个产品研制过程不可或缺的一个环节,并促进模型库中模型对象的不断丰满、完善与成熟。

整个虚拟工程样机体系的建立主要包括两个方面的工作:

a) 建立与实施虚拟工程样机相适应的体制机制,包括业务流程、标准规范等的定义,组织与人员角色等的确定。

b) 实施、定制、部署虚拟工程样机应用所需的信息化软硬件环境。包括建模与仿真工具的引入及本平台模型验证(VV&A)模块定制开发等工作。

为了构建有效的虚拟工程样机应用体系,需要建立虚拟工程样机相关的业务流程,详细定义各个业务流程包括的环节,各个环节之间的信息输入输出关系,各个业务环节的参与人员角色及需使用到的工具软件等内容,并对这些业务流程在本平台 VV&A 模块中通过标准化模板的建立进行固化。

在上述业务流程定义的基础上,还需要对虚拟工程样机业务流程中开展的各环节对应活动需遵循的标准规范进行定义。需定义的标准规范包括:

- a) 分析模型的编号、命名及版本控制规范;
- b) 面向功能的产品结构节点的编号、命名及版本控制;
- c) 分析模型相关的描述文档管理要求;
- d) 分析模型的保真度定义规范;
- e) 分析模型的成熟度管理规定;
- f) 仿真分析结果数据管理规范;
- g) 供应商 VV&A 数据包接口及交互规范;
- h) 适航审定标准对接管理规范;
- i) 适航审定仿真数据包管理及发布规范。

4.2 飞机架构模型设计

需要在既有当前系统设计所形成的宝贵经验与知识的基础上,结合实际组成及工作过程,分析并定义复杂系统总体架构及其各组成部分之间的数据流转关系,参照实物接口与时序关系,通过对系统及其分系统连通关系、静态属性、动态特性等要素进行梳理、分析,重点解决系统总体及分系统建模、多领域建模、控制与显控界面设计等关键技术问题,进而通过各部分组成的虚拟样机反映总体需求及对应方案、系统各组成部分之间工作时序、系统总体参数等通用设计要求。

a) 架构设计

按照飞机系统层级,自上而下,开展飞机/系统/分系统/附件等架构设计,定义各功能模块及其接口形式、数据格式。在各功能模块之间的接口保持不变的情况下,模块内部可以根据型号研发阶段的不同需求,逐步升阶,进行模型替换,保证在型号研发过程中,系统架构的一致性。

b) 多系统并行协同开发

多系统之间,必须基于统一的架构模型,并行开发系统模型,这样,可以降低系统模型集成的难度,确保型号在各阶段的协同仿真顺利开展。

4.3 多系统模型集成

飞机机载系统的专用建模软件种类繁多,由于

使用习惯和建模软件的特点,无法完全实现统一建模工具平台,给模型集成带来很大困难,需重点研究和突破模型集成技术,目前有两种主流思路:

a)各专业仿真软件遵守统一接口规范封装模型。按照统一的接口标准协议进行模型封装,如封装为 FMU 模型 (Fuctional mockup unit) 或 Matlab/Simulink 支持的 S-Function 模型,以集成到统一的仿真计算环境中。

b)多专用仿真软件的协同仿真。采用分布式联合仿真协议,模型运行于各自的建模仿真软件中,按照制定的数据通讯规则交互计算数据。^[12]

4.4 相关模型参数辨识和验证技术

模型仿真的计算数据与实际物理试验测试数据的拟合度是评价数字孪生技术准确性的重要指标。计算数据是否准确,将直接影响数字孪生应用场景分析结果的可信度。因此,模型的计算结果通常必须按照特定的流程进行校验,模型校验流程如图 7 所示。

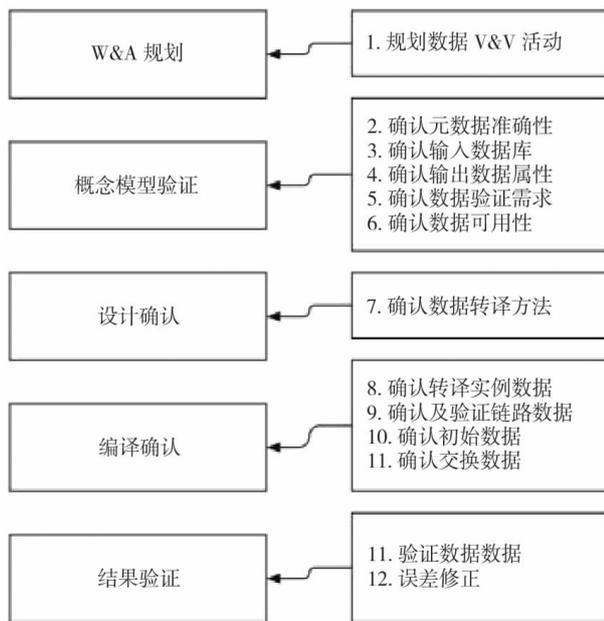


图7 模型校验流程

模型校验技术研究模型的校验、验证、确认方法和流程,确认已开发模型是否有效;验证模型试验结果是否可信。模型校验技术需大量的试验测试数据作为支撑,将试验测试数据与模型计算数据对比分析,如图 8 所示,红色曲线表示试验测试数据,蓝色曲线表示仿真数据。根据误差值的大小,确认虚拟集成试验模型算法、参数取值、计算过程对某一特定

虚拟集成试验是否可接受。^[12]

通过典型的 Matlab 软件平台,常用模型校验方法如下:

- a) 单个总体 $N(\mu, \delta^2)$ 的均值 μ 的检验方法;
- b) 两个正态总体均值差的检验;

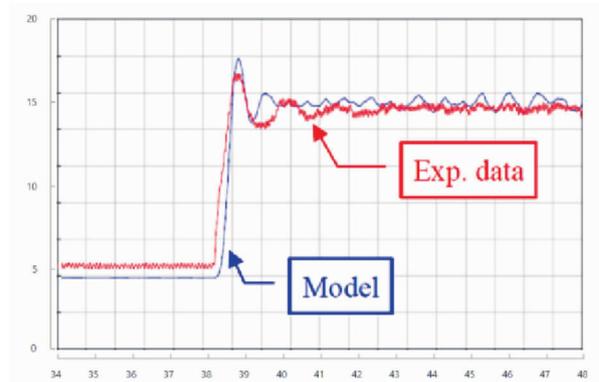


图8 物理试验数据校验虚拟试验数据

- c) 分布拟合检验法;
- d) 中位数检验法。

5 结论

根据数字孪生技术的基本特性,考虑到飞机的系统复杂性和模型多样性特点,可以建立能够整合多种 CAE 专业仿真软件工具平台,通过构建统一的建模规范和标准,将各专业的模型集成起来,配和基于任务的飞机运行场景模型和环境模型,形成可以表达飞机不同研发阶段目标任务的数字孪生体,可以为飞机的需求和各系统的功能、性能、架构设计、接口定义等提供验证环境。在通过一定的物理试验结果进行模型验证后,数字孪生体可以和物理试验平台相结合,完成更为广泛、更加复杂的飞机集成试验任务,为民用飞机适航验证和运维服务,提供更快、更经济、更强有力的支持与保障。

参考文献:

- [1] 唐怀坤. 数字化引领江苏经济创新发展[J]. 唯实, 2018(9):59-62.
- [2] 邢帆. 数字孪生技术或助智能制造加速发展[J]. 中国信息化,2018(4):6.
- [3] 庄存波等. 产品数字孪生体的内涵、体系结构及其发展趋势[J]. 计算机集成制造系统,2017(4):753-768.
- [4] DARIO Morandotti, ALESSANDRA Pelosi. Toward Digital Twin and Simulation-Driven New Product Develop-

- ment: Conference: R&D Management Conference, July 2018. Milan, Italy.
- [5] CLINE. G. 2017. The benefits of simulation-driven design. Aberdeen Group.
- [6] NAFEMS Report. What is simulation data and process management[R]. NAFEMS Ltd. , 2015.
- [7] Ansys, Inc. 2017. Delivering a Digital Twin. Ansys Advantage-Issue 2 February 2017.
- [8] NAFEMS Webinar Simulation & Digital Twins. Behind the Buzzwords www.nafems.org Wednesday 2 May 2018.
- [9] Engineering. Com What is the Digital Twin and Why Should Simulation and IoT Experts Care? www.engineering.com 27-nov-2017.
- [10] NAFEMS Webinar Series 2020 Vision of Engineering Analysis and Simulation www.nafems.org.
- [11] MUSSOMEI A, PARROT A, COTTELEER M. Industry 4.0 and the digital twin Manufacturing meets its match [M]. New York: Deloitte University Press, 2017.
- [12] 陆清, 吴双. 民用飞机虚拟集成试验技术研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2017(2):1-7.

作者简介

陆清 男, 工程硕士, 研究员。主要研究方向: 系统集成设计 飞机系统集成试验验证。E-mail: luqing@comac.cc

吴双 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 多领域系统建模 控制系统分析与设计。E-mail: wushuang@comac.cc

赵喆 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 系统集成设计 控制系统分析与设计。E-mail: zhaozhe@comac.cc

周凡利 男, 博士。主要研究方向: 基于模型的系统工程、多领域系统建模与仿真、多体系统动力学。E-mail: zhoufl@ tongyuan.cc

Application of Digital Twin Technology in Aircraft Design Verification

LU Qing^{1*} WU Shuang¹ ZHAO Zhe¹ ZHOU Fanli²

(1. Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China;

2. Suzhou Tongyuan Software & Control Tech. Co., Suzhou 215123, China)

Abstract: With the development of Industrial 4.0 technology, digital twin technology is constantly penetrating into all fields of industrial production and new product development, and is bringing advantages such as overall optimization of comprehensive performance, reduction of R&D cost and shortening of R&D cycle for new product development. It is an important means to enhance the market competitiveness of new products. In the process of modern civil aircraft research and development, digital twin technology could be used to realize virtual and physical seamless docking in the whole life cycle of products such as requirements, preliminary definition, detailed design, manufacture, flight test, certification and maintenance, especially in aircraft design verification, it can achieve better, wider, faster and more economical. However, the digital twin technology has not yet been used in the civil aircraft development project in our country. In this paper, the application of digital twin technology in aircraft design verification is discussed from several aspects, such as aircraft architecture model design, multi-model architecture integration, model parameter identification and verification. It is found that the digital twin technology could provide important guidance and technical support for the design and verification of aircraft model development at all stages, especially for integrated test and verification, and also provide faster, more economical and more powerful support for civil aircraft airworthiness verification and maintenance services.

Keywords: aircraft; digital twin; integration test; digital simulation

* Corresponding author. E-mail: luqing@comac.cc