

数字孪生在航空机电产品装配工艺中的应用研究*

唐 竞

(航空工业庆安集团有限公司工艺技术部,西安 710077)

[摘要] 针对航空机电产品在推行数字化装配技术的过程中,暴露出来的单一数字模型难以全面反映产品特征、功能和性能指标的问题,指出构建基于装配数字孪生(Digital Twin)模型的装配工艺设计平台的重点内容和关键技术。指明装配工艺设计的数字化对于产品数字模型的新需求,阐述了数字孪生技术的定义和发展现状,探讨了数字孪生技术在产品装配工艺建模过程中的应用,论述了通过装配数字孪生模型与产品样机的虚实融合和数据交换,运用实时数据来辅助工艺决策,动态修正工艺方案,达到装配工艺设计能快速响应生产变化的效果。

关键词: 数字孪生; 装配; 工艺设计; MBD; 虚实融合; 数字模型

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2019.15.022



唐 竞

研究员级高级工程师,长期从事装配工艺、试验工艺和数字化制造技术等研究与应用工作。近年来,重点开展了三维装配工艺设计技术、虚拟试验技术和半实物仿真技术的应用研究工作,撰写和发表了相关科技论文 20 余篇。

随着计算机技术的快速发展,基于(Model Based Definition,基于模型的定义)MBD的数字化装配技术在国际航空制造企业被广泛应用。在虚拟现实环境下的装配仿真,对提升装配工艺设计的科学性和合理性,避免因装配工艺设计方案错误造成返工,进而对缩短产品研制周期起到了很好的作用。

航空机电产品是飞行器的重要组成部分,对于保障飞行器的飞行安全,达成飞行任务具有非常关键的作用^[1]。在国内航空机电产品的研制过程中,已经开始运用数字化的手段来进行装配工艺设计验证。然而,在实际生产中运用数字化仿真的方法,主要关注的是装配方法和流程,仿真验证的是产品结构和相关几何尺寸要求,而对产品其他物理量的综合耦合影响的关注不足;装配工艺所使用的模型也是来源于单一形式的产

品设计模型,只能表征产品几何特征和尺寸要求,难以满足对产品特征和性能参数的表征要求,所运用的工具也难以满足对于产品性能指标的仿真实验需求。

数字孪生是国际上将物理样机数字化的最新成果,是赛博物理系统的关键技术。借鉴数字孪生技术,重新定义装配过程的数字模型,为实现装配过程各要素的全面数字化提供了新的思路。

数字孪生

1 从孪生到数字孪生

“孪生体/双胞胎(twins)”概念最早来源于美国国家航空航天局NASA的阿波罗项目,NASA制造了两个完全相同的空间飞行器,一个通过火箭发射到外太空执行任务,另外一个留在地面用于反映正在执行任务的空间飞行器的状态/状况,因此

留在地面的空间飞行器被称作外太空飞行的空间飞行器的孪生体,此时的孪生体是另一个实物。

随着数字化技术的发展,学者们开始尝试用数字化的方式来描述研究对象。2003年,Michael Grieves教授将孪生体抽象为“与物理产品等价的虚拟数字化表达”,并于2011年正式命名为Digital Twin^[2]。2012年,在着手开展未来飞行器研究时,NASA和美国空军研究实验室将数字孪生体定义为:一个面向飞行器或系统的集成的多物理、多尺度、概率仿真模型,它利用当前最好的可用物理模型、更新的传感器数据和历史数据等来反映与该模型对应的飞行实体的状态。同年,NASA发布了“建模、仿真、信息技术和处理”路线图,数字孪生体被正式带入公众视野^[3](图1)。

数字孪生体的模型包括物理空间实体产品、虚拟空间的虚拟产品、物理空间和虚拟空间的数据和信息交互接口3个部分。数字孪生体概念模型的提出,构建了实物研究对象所对应的数字虚拟对象,用形态和举止上都相像的数字映射替代了实物映射,并且通过接口实现虚实融合。

2 数字孪生的应用现状

最近几年,数字孪生这个起源于航空航天领域的概念,在理论和应用

层面均得到了快速的发展,并逐渐被其他领域所借鉴和吸收。除制造业外,国内外学者通过研究,已将数字孪生广泛应用于电力、教育、建筑^[4]、遗传医学^[5]和文化保护^[6]等方面。2017年,美国智库Gartner公司公布了当年世界范围内十大战略技术发展趋势,数字孪生技术位列其中^[7]。

数字孪生概念在产品的生命周期范围内,其应用也逐渐从产品设计向工艺设计、产品制造和运维服务等阶段转移。伴随着大数据、物联网、云计算等新一代信息技术的运用,产品实时数据的采集、存储与传输得以实现,为产品制造过程的分析、预测和决策,并实现虚拟空间与物理空间的信息交互、虚拟空间对物理空间的实时控制创造了条件。

数字孪生与装配工艺模型

装配工艺的设计过程,就是在已有的人员、材料、工具和设备等生产资料的约束下,满足装配工作的时间、成本和质量目标,规划产品的装配流程和工艺参数的决策过程^[8]。而装配工艺模型的建立,则是工艺设计过程中进行决策的基础。

1 航空机电产品对装配用数字模型的需求

在企业推行MBD技术的过程中,装配工艺设计能方便地继承使用产品设计阶段形成的零件、部件和产

品等各级别的模型,这种使用的优势从客观上促进了装配工艺数字化建设的进程。但是随着企业信息化建设的进程,装配生产环节对装配工艺建模提出了更高的要求,现行的装配工艺模型已经难以满足生产的需求。

(1)复杂的生产过程要求提供更多制造要素信息。

航空机电制造企业是典型的小批量多品种生产模式,产品品种多、转换周期短、生产准备困难、生产组织非常复杂。为了实现生产的快速转换,需要在工艺资料中提供更多制造相关要素的信息,包括人员、设备、物料/物流、装配方法、生产环境、测量试验等。

(2)产品的进步要求装配工艺模型能描述更多要素。

随着飞机的更新换代,航空机电产品在技术上进步迅速,产品的复杂度越来越高,涉及的专业领域越来越多,基本涵盖了机械、电子、液压、气压和控制等诸多学科,给产品的装配工艺模型提出了更高的要求。除了产品的空间结构和几何尺寸以外,装配工艺模型需要能描述产品所涉及的所有不同学科所需要研究的特征,以便于使用合适的仿真工具来进行仿真计算,从而为工艺设计提供数据支持。

(3)数字化仿真要求模型数据能参与运算。

推行基于MBD的模型设计,技术员将对产品、部件和零件的各种制造要求分别标注在各级别的模型中,包括几何尺寸要求、形位公差的控制要求、产品功能调试要求、零部件和产品的表面处理要求、产品试验方法和指标参数达成要求等(图2)。但是并非所有定义都是用计算机语言描述的,虽然人能读懂,但是数字化仿真软件却无法从中读到所需的参数,因此也就无法对其所描述的物理量进行分析、计算和仿真,无法用于未来工艺设计系统的自主决策,难以

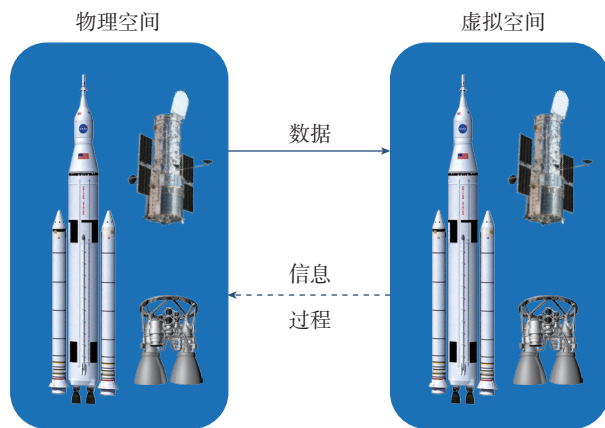


图1 NASA数字孪生体的概念模型

Fig.1 Conceptual model of NASA's digital twin

满足未来智能制造背景下的装配生产过程对于模型数据的需求。

(4) 生产现场要求模型能动态响应生产现场变化。

现行装配工艺模型描述的是在理想状态下,产品和各项零部件的几何结构、尺寸公差、表面状态和功能性能指标要求。然而在产品的生产过程中,由于加工条件的限制,部分的几何结构和尺寸公差与理想的数值会有差异,比如说,生产中发生了加工尺寸链中误差的累积会造成部分尺寸超差、液压产品的细长轴类零件同轴度指标超差、零件表面镀铬尺寸不均匀等问题。根据理想数据建立的模型,无法响应生产中的动态变化,在实际装配生产中执行理想状态下的工艺文件会出现异常,导致装配生产工作中断,或生产出不合格产品。只有能体现真实制造参数的工艺模型,才能真实反映零件和产品的实时状态,仿真的结果才有可参考性,这样设计出来的工艺规程才能动态响应现场的装配需求。

2 数字孪生概念与装配工艺模型的结合

数字孪生体的概念模型指出,数字孪生的本质是以数字化的形式对某一物理对象的状态、行为或流程进行实时的动态呈现。数字孪生概念在装配工艺模型中的应用,即根据数

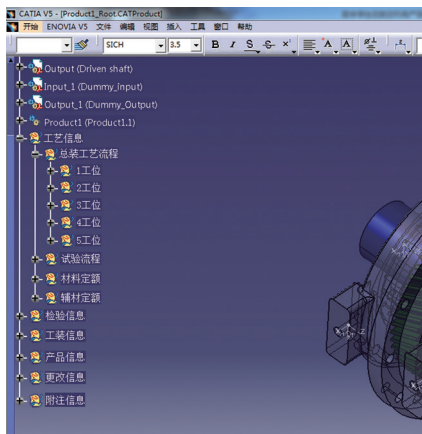


图2 基于MBD的产品模型标注

Fig.2 Product model annotation based on MBD

字孪生的概念,运用数字化手段对产品装配实物的结构、状态、特征、装配的动作和流程进行描述、表征及建立数字模型的过程。在产品装配过程中应用数字孪生的概念,具有以下技术优势:

(1) 获得了一种从不同尺度、不同学科和不同层次来描述同一个产品实物的方法。

根据上文论述,航空机电产品特有的复杂性导致无法使用一个简单的模型来对其进行全面的描述。运用数字孪生的概念,以产品的设计模型为基础,选取研究对象,明确研究目的,可以从所需要的学科,以恰当的视角尺度对需要重点研究的物理量进行建模分析,特别重要的是,可以将所需的制造要素纳入建模分析的范围,这为产品实物装配工作的顺利开展创造了条件。

(2) 具备了动态修正模型的条件。

数字孪生概念的一个特点是数字孪生体可以通过数据接口来实现虚实融合,从而实现运用实物的数据来动态修正模型。建立装配数字孪生模型,预留与制造执行系统MES的数据接口,通过采集生产现场的实时数据,可以随时修正装配模型,将理论模型修正为实作模型,此时的研究对象即为产品的实物对象,所有的仿真计算都针对该产品,更有利于制定出符合现实产品需求的工艺方案。

(3) 能够实现装配工艺实时决策。

航空机电产品是一个比较复杂的系统,其装配过程中会遇到各种突发的事件,从而引起装配状态的变化,通过建立装配数字孪生模型,可以根据实时数据动态修正模型为装配工艺的实时决策创造条件,进而快速形成优化后的实时工艺规程,用于指导现场的产品实物装配操作。

3 基于数字孪生的装配工艺数字模型

根据上文分析,结合数字孪生概念高度集成性、跨学科性、多尺度性和动态性的特点,研究将数字孪生概念用于装配工艺数字模型的建模,为了与传统的数字模型相区别,本文称为装配数字孪生模型(图3)。装配数字孪生模型主要用来解决在航空机电产品装配过程中,为了达成航空机电产品的功能性能指标,满足装配生产需求所建立的多学科、多尺度、多层次和多物理量的数字化模型。

由于数字孪生模型具有跨学科、多尺度和多物理量的特点,装配工艺数字孪生模型已经不再是传统意义的某一个或某一类模型,而是由描述产品装配过程的多个不同学科的数字模型所组成的模型集。这个模型集由基于MBD的产品模型引申和发展而来,分别从产品模型中提取了所需的产品装配结构、几何信息、技术条件和工艺要求等信息,并运用相应学科的建模工具进行建模,进而形成了一个包含各种不同物理量,能满足不同学科仿真与技术需求的数字模型集。

装配数字孪生模型具有层次性。通过将产品分别从系统、分系统、部件、组件和零件等层次进行划分,根据产品的装配结构特点,每一个高层级的模型中包含若干个低层级模型,不同层级中可以关注不同细粒度的指标,用于满足不同层级的仿真需求。装配数字孪生模型各层级模型及用途见表1。

装配数字孪生模型能参与多学科领域的仿真计算,其所包含的模型集,是在产品基本设计模型的基础上,衍生出应用几何、结构、力学、热学和材料等不同特性的物理参数,能供包括机械、电子、液压、气压和信息等不同的学科领域进行多学科联合仿真(图4)。通过运用各学科的仿真工具,工艺人员可以分别运用数字

孪生模型中所包含的模型集,对产品的装配进行工程分析,并可以进行虚拟环境下的装配和试验工艺的仿真,并将仿真的结果进行输出,运用视景仿真的方式实现装配生产现场的虚拟可视化。

装配数字孪生模型与产品物理样机通过数据接口来实现数据交换

和虚实融合(图5)。装配数字孪生模型是工艺员在基于MBD的设计模型的基础上,运用理想的设计参数来建立的包含一系列各种装配工程所需的模型的集合,其所描述的产品与装配生产现场的产品实物是存在差异的。随着企业信息化建设发展,车间详细制造数据和过程系统MDC

(Manufacturing Data Collection & Status Management),物联网和大数据技术的应用,布置传感器构建数据采集系统,可对制造过程中产生的工时、物流、产品状态和实际的装配参数等制造数据进行采集,并保存到企业统一的运行数据库中。一旦装配车间现场发生与装配工艺规程不符的情况,工艺员可以通过数据接口查看并调用相关的数据,修正理想数字孪生模型,如调用工时数据来修正排产模型、调用物料的物流数据来修正物流模型、调用实时装配参数来修正装配工艺模型等,实现实时刷新和修正数字孪生模型的效果。为了与理想的数字孪生模型区别开来,本文将其称作产品实作数字孪生模型,而产品实作数字孪生模型能反映现实的真实装配状态。通过不同的工具对实作数字孪生模型进行仿真分析之后,形成工艺优化方案,并最终形成优化后的装配指令,并通过数据接口传送给装配车间现场,以便在生产中执行。通过装配数字孪生模型与产品的虚实融合,最终将实现装配工艺的实时修正的目的,提升装配工艺设计对于生产的快速应变能力。

与传统的由一个或若干个同类型模型构成的装配数字模型不同,装配数字孪生模型是由若干个复杂的多源异构模型所构成的模型集^[9],因此需要通过建立一个专用的管理平台来进行管理。装配数字孪生模型管理平台将装配数字孪生模型集进行打包管理,根据不同产品的结构和所涉及的学科领域的不同,数据包中可以包含有多学科仿真模型、装配仿真模型、虚拟试验模型和装配工程规划模型等不同子集,每个子集下还有更详细的分类。如图6所示,某产品的多学科仿真模型子集下就包含有机机械结构、液压系统、电子系统、动力学仿真和热力学仿真等类型的节点,当点击不同的节点时,可以看到该节点下所对应的模型的详细信息,并可

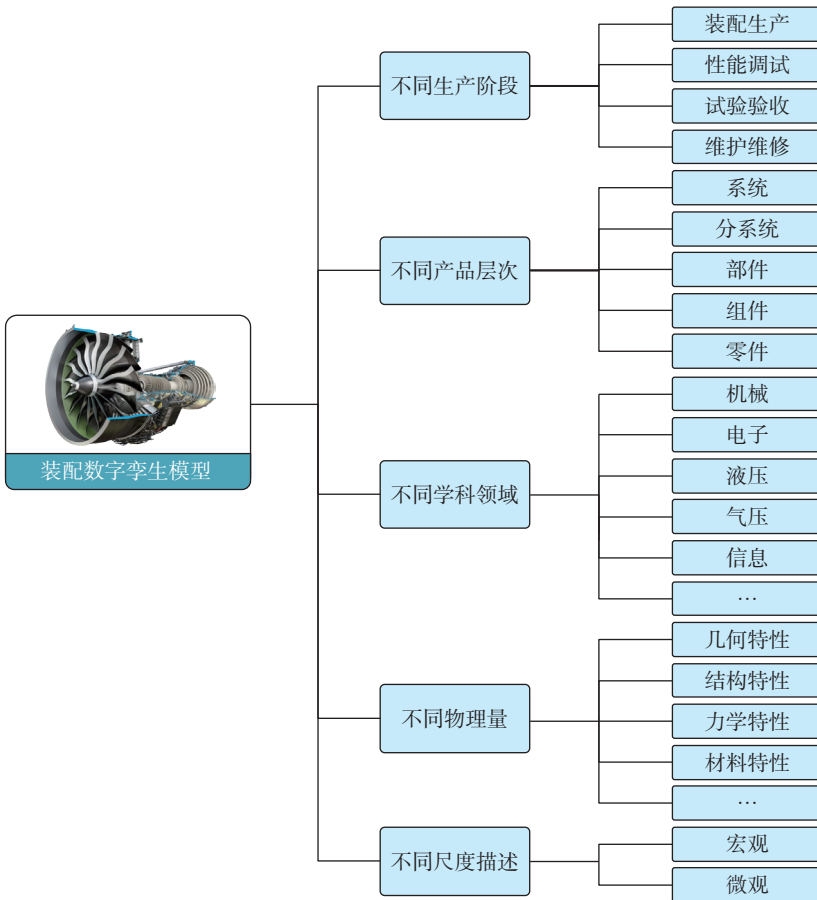


图3 装配数字孪生模型构成
Fig.3 Assemble digital twin model

表1 装配数字孪生模型各层级模型及用途

Table 1 Models and uses for assembling various levels of digital twin models

结构	层级	用途
	产品	用于系统级装配与试验的仿真与验证
	系统	用于系统级装配与试验的仿真与验证
	分系统	用于分系统级装配与试验的仿真验证
	部件	用于部件级装配与试验的仿真验证
	零件	用于零件加工与各学科的仿真验证

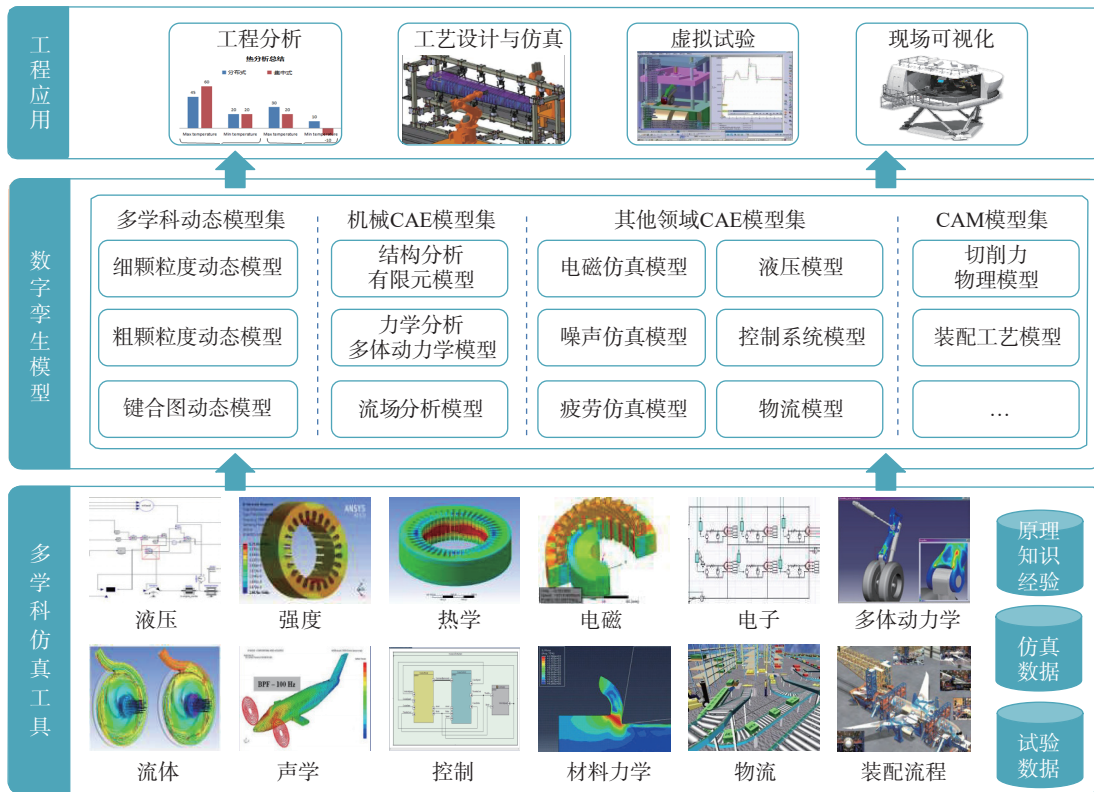


图4 装配数字孪生模型在 multidisciplinary 仿真的应用
Fig.4 Application of digital twin model in multidisciplinary simulation

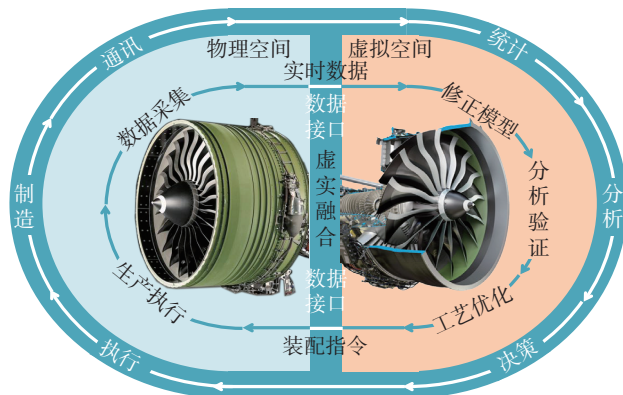


图5 装配数字孪生模型与产品实物的虚实融合
Fig.5 Virtual-real fusion of digital twin model and product object

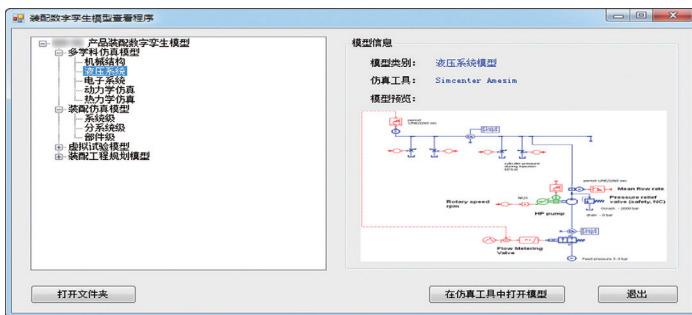


图6 装配数字孪生模型管理平台
Fig.6 Management system of assemble digital twin model

以用相应的仿真工具打开模型。

4 装配数字孪生模型的关键技术

作为一个新生事物,装配数字孪生模型在装配工艺设计中应用的过程中,还需突破以下关键技术,才能成功的落地实施。

(1) 基于灵敏度分析的目标特征建模技术。数字孪生技术理论上可以对研究对象的任何特征进行建模研究,但是大而全就意味着模型体量的无限增大,会影响数据的存放、处理和管理效率,而且过多的特征会造成模型使用困难。基于灵敏度分析的目标特征建模技术是解决上述建模颗粒度问题的关键技术。该技术以产品数字孪生建模的需求工程为基础,明确建立数字孪生模型的研究目的,控制需求的范围,梳理对既定研究目标有影响的所有因素,进行对产品影响因素的灵敏度分析,按影响的大小排列所有影响因素,排除影响较小甚至没有影响

的因素,重点关注影响较大的因素,并将其相关的特征作为建模和研究对象,进而厘清需要从哪些角度、哪些学科、用哪些物理量以及细分多少层次来描述产品。

(2) 基于关键特征的装配过程虚实映射快速建模技术。为保证装配数字孪生模型能准确映射装配生产全过程,结合产品的装配路径规划、装配物料配置和装配工位布局,建立与之映射的装配生产模型和工艺模型,重点关注梳理出来的对产品功能性能有较大影响的关键产品特征和工艺特征,结合积累的产品知识,实现对装配数字孪生模型集中相关数字模型的快速建模。另外,在工艺设计阶段通过虚拟现实环境中的装配生产全过程仿真,特别是关键特征点的仿真,实现对影响产品性能的关键特征的验证和优化。

(3) 变复杂度的数字孪生模型建模技术。装配数字孪生模型具有层次性的特点,不同层次的模型所需要研究的特征或因素是不同的,例如在典型的机电产品仿真中,液压系统的仿真分析只需要在系统级的仿真中完成,产品级的仿真中只需要调用仿真结果即可。因此,针对不同层级的数字孪生模型的使用需求,定义各层次的研究对象,以及仿真验证的目标,形成产品各层级的数字孪生建模需求。基于人、机、料、法、环、测等制造全要素,确定各层级的建模对象、所需建模工具和建模方法,建立适宜的变尺度、变粒度、变复杂度的仿真模型,以满足具体仿真场景的需求。

(4) 装配数字孪生模型与实物双向映射与刷新技术。装配过程设计需要综合考虑装配过程中的制造全要素对于产品功能性能的影响,然而不同的制造要素数据来源不同、结构不同、表述的方式也不相同,需要建立多源异构的复杂数据的分类和关联建模的方法,处理多学科、多尺度和多物理量的装配信息数据,表

述不同物理量在制造过程中的影响。另外,将数据采集、大数据和私有云等先进技术应用到装配过程中,实现产品实物装配过程中产生的实际参数与装配数字孪生模型的数据交换,进而实现数字孪生模型与实物的双向映射与刷新。

数字孪生环境下的三维装配工艺设计

在建立装配数字孪生模型的基础上,结合企业的CAPP系统,建立数字孪生环境下的三维装配工艺设计系统^[10],以满足未来智能制造背景下的装配设计需求。

1 系统框架

数字孪生环境下的三维装配工艺设计系统的整体框架如图7所示。系统由模型层、物理层、数据层、技术层、功能层和用户层等组成。

(1) 模型层即运用数字孪生技术所建立的装配数字孪生模型,它是由工艺人员承接产品设计模型的定

义,所建立的多学科、多尺度、多层次和多物理量的数字模型。该模型从各方面描述了产品的结构、参数、功能和性能指标等,而且定义了产品装配过程所涉及的“人、机、料、法、环、测”等制造全要素信息,它是产品装配实物的数字孪生体。

(2) 物理层指的是产品和环境所构成的产品装配实物,这是产品装配生产的实物对象,产品的装配过程依赖三维工艺设计系统所生成的装配指令,在产品装配中采集实时数据,提供给多学科建模仿真,产生装配过程的修正和优化建议,通过三维装配工艺设计系统生成修正后的装配指令,以实现装配过程的实时修正和优化功能。

(3) 数据层包含数字孪生环境下三维装配工艺设计所产生的所有数据,包括设计员所定义的产品数据、工艺员所定义的工艺数据、仿真验证所产生的仿真数据、实物运行所产生的运行数据以及所需的企业资源数

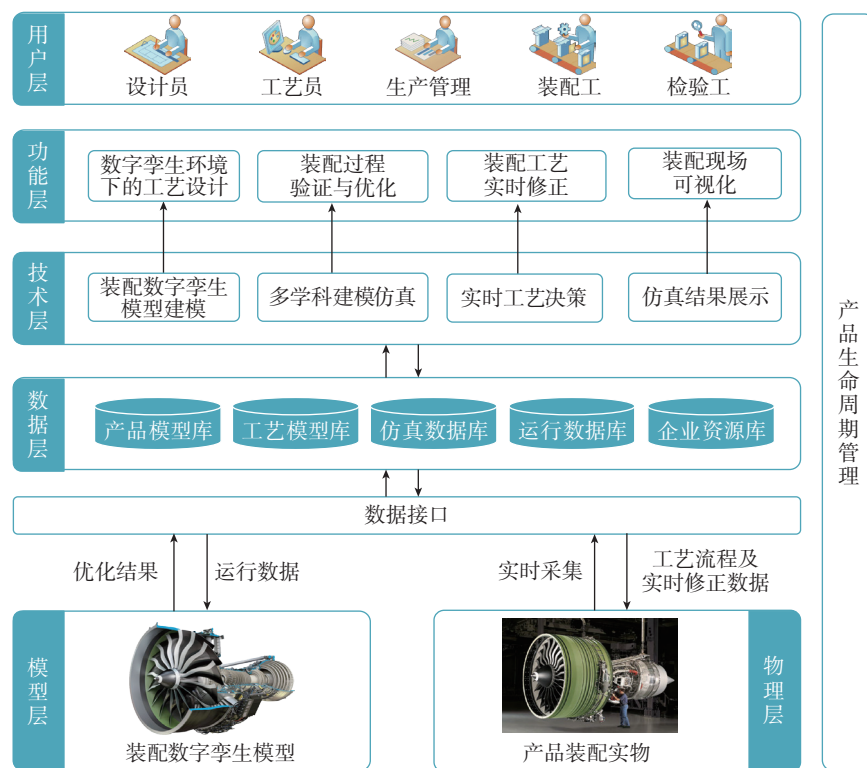


图7 数字孪生环境下的三维装配工艺设计系统整体架构

Fig.7 Architecture of 3D assembly process design system in digital twin environment

据,这是整个系统赖以运行的基础。

(4) 技术层是该系统所包含的主要应用技术,包括装配数字孪生模型建模技术、实时工艺决策技术、多学科建模仿真技术以及仿真结果展示技术等,这些是实现数字孪生环境下的三维装配工艺设计功能的核心技术。

(5) 功能层是该系统所实现的主要功能分解,主要包括数字孪生环境下的装配工艺设计、装配工艺过程验证与优化、装配工艺实时修正和装配车间现场可视化等功能^[1]。这些功能的组合实现了装配模型的产生、验证、优化、应用和修正的全过程,形成了虚拟和实物的两条反馈和迭代路线,实现了装配工艺的仿真验证和实时修正(图8)。

(6) 用户层是本系统涉及的用户和角色,包括设计员、工艺员、生产管理员、装配工和检验工等。

另外,数字孪生环境下的三维装配工艺设计系统在业务和数据上,与产品全生命周期管理系统(Product Lifecycle Management, PLM)实现集成,从而实现与上游业务(产品设计)和下游业务(生产)的高效协同。

2 数字孪生环境下的三维装配工艺设计过程

建立数字孪生环境下的三维装配工艺设计系统,开展装配工艺设计工作,主要分为5个阶段(图9)。

(1) 第一个阶段是装配数字孪生模型建模阶段,工艺人员承接产品设计阶段生成的基于MBD的产品设计模型,通过对产品进行分析,明确需要建立模型进行研究的产品

特征,然后根据建模需求,分别开始建立各学科、各尺度、各层次、各物理量的理想产品数字孪生建模。建模阶段的时间工作比较长,工作量比较大,其核心是建模需求分析,厘清要进行建模研究的特征或参数,为后续的工作打下基础,同时也避免返工的情况。

(2) 第二个阶段是工艺规划阶段,工艺员将产品的装配过程进行总体的策划,并规划产品装配总体路径,划分出产品装配过程的大工位,以便开展产品装配线的产能分析和物流仿真。

(3) 第三个阶段是开展多学科仿真与验证阶段,在这个阶段,在产品的理想数字孪生模型的基础上,运用不同学科的分析工具对装配过程进行仿真分析,如运用 LMS Virtual.

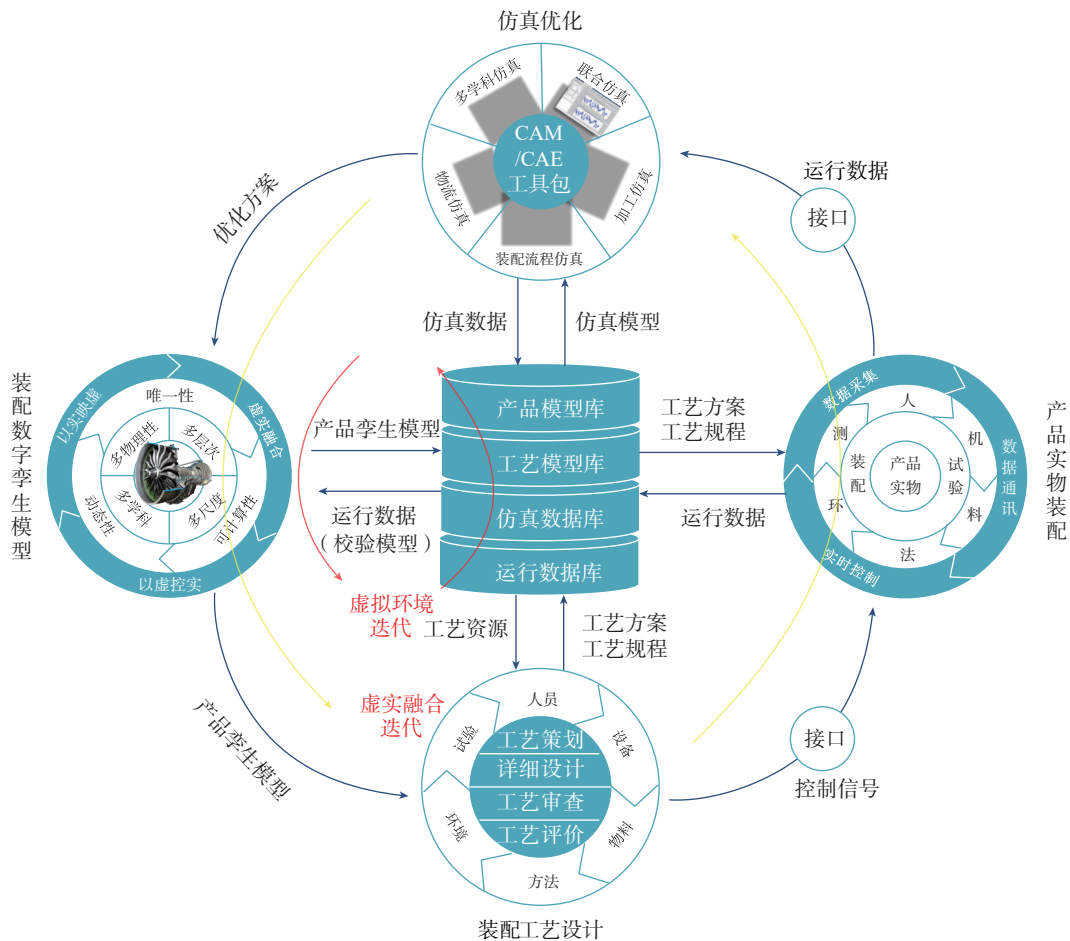


图8 数字孪生环境下的工艺迭代

Fig.8 Iterations of process in the digital twin environment

Lab 进行产品动力学仿真,运用 DELMIA 进行产品装配流程仿真,运用生产物流仿真软件对产品物流进行仿真分析,对产能进行计算,并将上述分析结果反馈给工艺员,以便进行装配数字孪生模型和工艺总体规划方案的优化。

(4) 第四阶段是工艺详细设计阶段,工艺员在 CAPP 系统下,进行

装配工艺流程的详细设计,包括装配工序和工步的划分,具体装配方法的选择,并对每一步的操作进行详细的描述,最后形成产品理想状态下的装配工艺流程。在工艺规程正式发布之前,工艺设计结果还需在虚拟环境下进一步仿真验证,包括运用多体动力学分析软件对产品的运动性能进行仿真分析,运用液压建模仿真软件

对产品液压通路进行分析等,以便于工艺员在产品装配工艺流程正式应用于生产之前,通过对各物理量进行多学科和多层级的仿真分析,从而保证装配方案科学合理。

(5) 第五阶段是装配现场使用和反馈修正阶段,反馈修正主要出现在两个工作阶段,一是在操作工人通过装配现场可视化终端调用装配工艺流程进行生产的准备时,检验零部件的主要控制参数是否在工艺规程规定的范围内,如果部分零组件的参数与设计参数发生了较大偏差,则反馈实时采集的零组件的实际参数^[12];二是在产品完成装配进行调试和试验时,检验产品的功能性能指标能否达到产品设计要求,如果有偏差,则反馈实时采集的产品零组件实际参数。工艺员通过数据接口获取产品零组件的实际参数,刷新产品理想数字孪生模型,形成与真实产品所对应的数字孪生模型,即产品实作数字孪生模型。工艺员利用多学科仿真工具进行仿真和计算,验证产品实际参数的偏差对产品功能性能的影响,并根据仿真结果及时修正理想工艺规程,形成一套能反映生产现场真实产品状态、满足产品的实时装配需求的优化工艺规程,用于指导现场装配工作,从而保障产品的功能和性能指标。

结论

装配工艺设计的数字化对于基于 MBD 的产品模型提出了更高的要求,传统单一形式的产品模型已经难以满足更多制造要素、动态响应生产变化的要求。引入赛博物理系统的关键技术——数字孪生技术,构建多学科、多层次、多尺度的模型集,可弥补传统单一形式的装配数字模型的不足,真实映射产品的各项特征和性能指标,满足装配工艺设计对于生产线设计与物流仿真、装配工艺详细设计与仿真、虚拟试验与多学科仿真

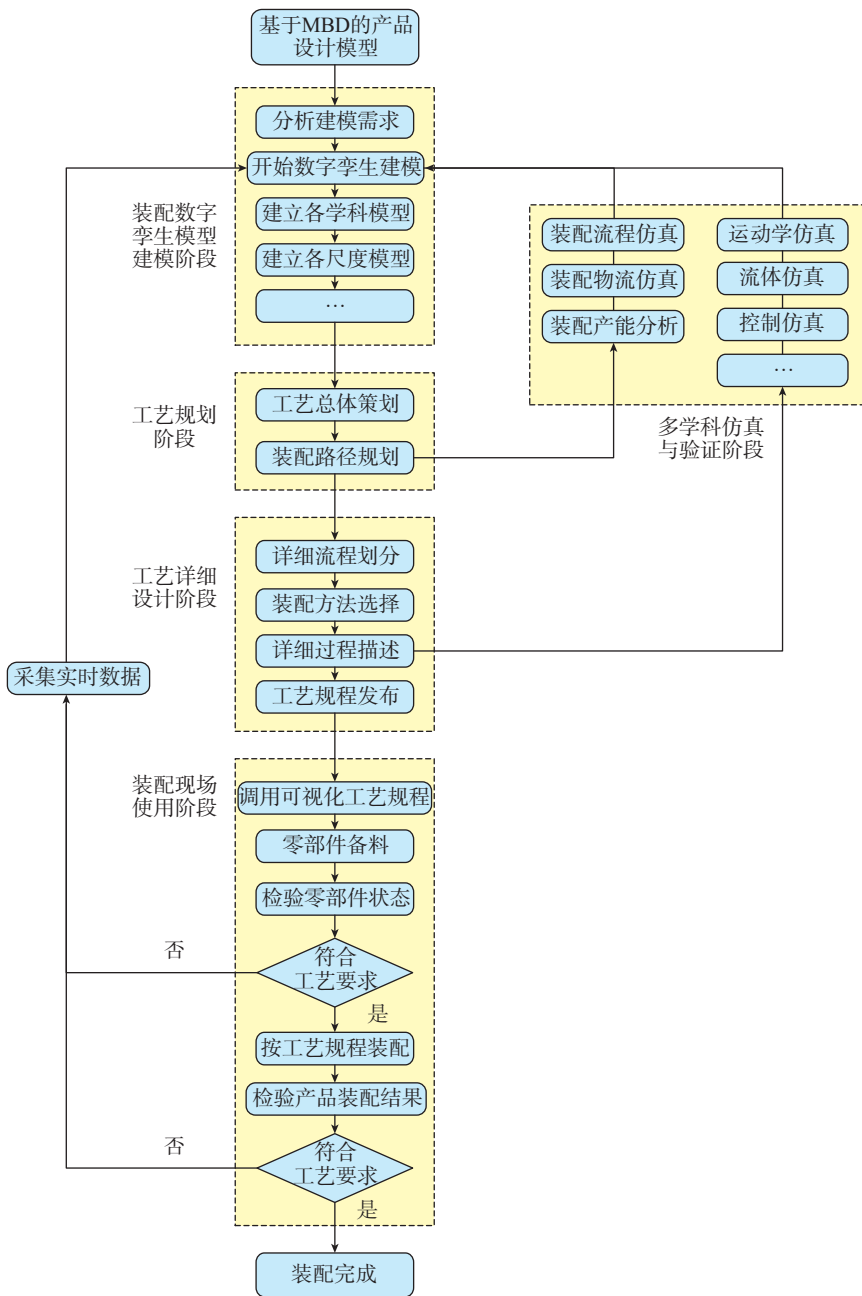


图9 数字孪生环境下的三维装配工艺设计过程

Fig.9 Process design of 3D assembly process design system in digital twin environment

等不同方面的需求。构建基于装配数字孪生模型的三维装配工艺设计系统,结合物联网、大数据和云计算等先进技术,建立数据接口实现装配数字孪生模型与产品实物的虚实融合,用实时数据修正装配数字孪生模型,通过多学科的仿真计算辅助工艺决策,修正工艺方案,构建出一个能快速响应生产实时变化的装配工艺设计系统,为智能制造背景下的计算机辅助工艺设计 CAPP 系统指出了—个可行的发展方向。

参考文献

- [1] 唐竞. 柔性脉动装配单元在航空机电产品中的应用[J]. 航空制造技术, 2013, 56(20): 121-123.
- TANG Jing. Application of flexible pulse assembly unit in aviation of electromechanical product[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013, 56(20): 121-123.
- [2] GRIEVES M. Virtually perfect: driving innovative and lean products through product lifecycle management[M]. Cocoa Beach: Space Coast Press, 2011.
- [3] SHAFTO M, CONROY M, DOYLE R, et al. NASA technology roadmap: modeling, simulation, information technology & processing roadmap technology area 11[EB/OL]. [2019-04-13]. https://www.nasa.gov/pdf/501321main_TA11-ID_rev4_NRCwTASR.pdf.
- [4] BOYLE J, ROBINSON J. BIM approach to a nuclear project: sellafield maintenance facility[J]. Project Focus, the Structural Engineer, 2013, 91(11): 96-97.
- [5] LANGE C D. Meet your unborn child before it's conceived[J]. New Scientist, 2014, 222(2964): 8-9.
- [6] 秦晓珠, 张兴旺. 数字孪生技术在物质文化遗产数字化建设中的应用[J]. 情报资料工作, 2018(2): 108-111.
- QIN Xiaozhu, ZHANG Xingwang. Application of digital twin technology in the digital construction of material cultural heritage[J]. Information and Documentation Services, 2018(2): 108-111.
- [7] Smarter with Gartner. Gartner's Top 10 strategic technology trends for 2017[EB/OL]. [2017-09-25]. <http://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartners-top-10-technology-trends-2017>.
- [8] 于勇, 胡德雨, 戴晟, 等. 数字孪生在工艺设计中的应用探讨[J]. 航空制造技术, 2018, 61(18): 26-32.
- YU Yong, HU Deyu, DAI Sheng, et al. Study on application of digital twin in process planning[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2018, 61(18): 26-32.
- [9] 于勇, 范胜廷, 彭关伟, 等. 数字孪生模型在产品构型管理中应用探讨[J]. 航空制造技术, 2017, 60(7): 41-45.
- YU Yong, FAN Shengting, PENG Guanwei, et al. Study on application of digital twin model in product configuration management[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2017, 60(7): 41-45.
- [10] 辛宇鹏, 田锡天, 黄利江, 等. 面向 MBD 环境的三维 CAPP 技术研究[J]. 航空制造技术, 2015, 58(6): 60-63.
- XIN Yupeng, TIAN Xitian, HUANG Lijiang, et al. Research on MBD-oriented three-dimensional CAPP technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(6): 60-63.
- [11] 陶飞, 张萌, 程江峰, 等. 数字孪生车间——一种未来车间运行新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(1): 1-9.
- TAO Fei, ZHANG Meng, CHENG Jiangfeng, et al. Digital twin workshop: a new paradigm for future workshop[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(1): 1-9.
- [12] 陈振, 丁晓, 唐健钧, 等. 基于数字孪生的飞机装配车间生产管控模式探索[J]. 航空制造技术, 2018, 61(12): 46-50, 58.
- CHEN Zhen, DING Xiao, TANG Jianjun, et al. Digital twin-based production management and control mode for aircraft assembly shop-floor[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2018, 61(12): 46-50, 58.

通讯作者: 唐竞, E-mail: 20738664@qq.com。

Application of Digital Twin in Assembly Process of Aviation Electromechanical Products

TANG Jing

(Process Technology Department of AVIC Qing'an Group Co. Ltd., Xi'an 710077, China)

[ABSTRACT] This paper discusses the key contents and technologies of the assembly process design system based on the assembly digital twin model, aiming at the problem that the single digital model exposed in the implementation of digital assembly technology of aviation mechanical and electrical products cannot fully reflect the features, functions and performance indicators of the products. This paper points out the new requirements of the digitization of assembly process design for product digital model, and expounds the definition and development status of digital twin technology, and discusses the application of digital twin technology in product assembly process modeling. This paper discusses the virtual and real fusion and data exchange of assembling digital twin model and product prototype, and how to use real-time data to aid process decisions and dynamic modification process plan. Finally, the assembly process design can quickly respond to production changes.

Keywords: Digital twin; Assembly; Process design; MBD; Virtual-real Fusion; Digital model

(责编 逸飞)