

飞机研制中的装配过程仿真

Assembly Process Simulation During Aircraft Research

西北工业大学 白永红
西安飞机国际航空制造股份有限公司



白永红

西飞国际副总工程师,西北工业大学在职博士生。先后从事过飞机制造工艺、飞机制造中的CAD/CAM技术应用、PDM(产品数据管理)应用研究、项目管理等工作,参加了多个飞机型号研制中的计算机技术应用工作,特别是对PLM和数字化制造技术有独到的见解。

近年来,国内外对飞机产品数字化装配技术的研究主要集中在装配分析与仿真、装配数据管理、装配工装夹具设计制造以及自动化装配等方面。国际上以飞机和汽车为代表的大型复杂产品研制企业都已将数字化装配技术应用于生产中,取得了显著的效益,无论是Boeing还是

有效地运用计算机仿真技术,可以减少对物理样机的需求,降低成本,节省时间。在产品开发进程的后期结合最新的设计更改,来进行工装工具的设计制造,消除产品设计变更所带来的昂贵的工具工装的更改。在设计的前期,按照制造装配与维修工作的可操作性要求,进行设计优化和变更,因而能够减少对特殊工具工装的需求。

Airbus目前基本上已实现了数字化装配。如Airbus系列飞机壁板装配采用了以数控钻铆机为中心的柔性装配系统,从铆接过程到装配管理均实现了数字化控制。资料统计得出:典型部件装配周期缩短60%、飞机装配周期缩短10%以上,装配工艺设计周期缩短30%~50%、装配返工率减少50%、装配成本减少20%~30%,同时大大提高飞机装配质量,极大地满足了客户要求。

装配过程仿真是 数字化装配的基础

1 数字化飞机装配与装配过程仿真

飞机产品的特点就是零件数量巨大、形状复杂、刚度低、产品结构复杂、配合关系复杂、材料种类多、工艺方法多,协调关系复杂、准确度要求高、尺寸链复杂以及工艺环节影响

大。以往依靠工艺人员的经验,经常从零件、乃至工装开始就出现超差,最终累积反映在装配阶段,可能发生强迫装配,装配车间的工艺人员80%的时间用于处理超差,从而影响飞机的质量、性能和寿命。因此,应用装配过程仿真主要有以下目的:首先使得各种不协调问题暴露在真实的装配开始之前并得到解决;其次通过装配过程的仿真及其优化后,输出应用于装配生产现场的技术文档和培训文档;第三为自动钻铆等数字化装配手段和工具的应用提供技术支持。

飞机装配是一个复杂的过程,一般用于指导装配生产的工艺文件的最终形成是根据产品的结构特征、企业的生产组织方式、人力与设备的情况、装配准确度的要求、装配基准及定位方法、装配连接技术要求、设计

功能的特殊要求、尺寸及刚度要求等因素,对整个装配过程和企业资源综合优化的结果,这些都充分体现了仿真的复杂性及必要性。在进行装配过程仿真时,必须进行人体建模、飞机虚拟样机建模、设备以及工装工具建模、人机工程虚拟环境建模、仿真过程建模等,必须进行人机工效分析,进行过程仿真和优化,最后生成相关工艺文件。

2 三维装配工艺规划和过程仿真

三维装配工艺规划和过程仿真是在计算机提供的虚拟空间内,融入知识管理的概念,对产品零部件、工装、工艺过程、工具等用数字化模型表示的全部行为,为人们提供一个从产品零件开始到完成部件装配全过程的三维可视化及交互的虚拟现实环境。信息技术的高速发展为三维装配工艺规划和装配过程仿真提供了有效的手段和技术支撑。在飞机研制中通过装配过程仿真可以提前暴露并解决实际装配过程中的设计、工艺、制造等问题,采用装配过程仿真可以有效地提高产品质量、降低产品研制风险、缩短装配周期、降低研制成本。主要表现在:

- 在 3D 环境中模拟装配流程,以避免在装配现场发生各种预料之外的问题。

- 在设计的前期阶段,就考虑产品的工艺性、装配性,可以有效地减少设计更改,降低研制成本。

- 同步进行产品设计、工艺设计和工装设计,并在产品设计阶段完成所有工艺设计和制造流程的模拟与优化,真正实现面向制造的设计。

- 在 PPR (Product、Process 和 Resource) 的集成环境中,可以暴露工装设计和制造中的问题,优化工装的设计。

- 减少(或消除)制造现场的返工与工程更改,以便提高产品质量。

在构型管理和工程更改的控制下,统一管理产品(Product)、工艺过

程(Process)和资源(Resource)等信息,以及这些信息对象之间的相互关系,为设计、工艺、制造、生产营运、与售后服务等之间的紧密联系提供了一个共同的环境,整合并管理从概念设计到维修报废之间的产品全生命周期。

3 三维装配工艺规划和过程模拟仿真的核心

装配过程三维规划和过程仿真的核心是产品、工艺过程和资源三者的数据交互技术,也是同步支持产品设计、制造流程规划和工艺设计、并综合进行仿真验证的技术基础。独特的 PPR 数据库环境支持飞机复杂的构型管理与数据有效性控制规则,支持工程更改、流程规划,资源规划和工艺设计,并保持产品工程信息之间的关联性。这种数据交互技术提供现实可靠的方法,通过产品构型管理和数据有效性控制,直接管理产品、流程、资源等信息知识对象以及这些对象之间的关联。由于在统一的集约化数据库中可以直接定义和管理这些关联,每个工程师可以直接地观察到某一类对象的变更会对其它对象带来的影响和冲击。例如:若变更某个零件设计,哪个制造计划或工艺会受影响等等。可以充分利用 PPR 对象之间的丰富关联,促使其中的任一对象均能尽早尽快进行可能的优化。

产品工艺过程和资源的数据交互支持捕捉,积累、管理并重复利用知识库案例,包括标准的设计规则、制造流程与工艺规格、资源限制、标准工时分析等等,并以知识工程为基础,提供定义和管理这些对象间相互关联的能力和环,使得飞机研制中设计、工艺、生产制造、与企业营运

等组织之间得到优化整合。

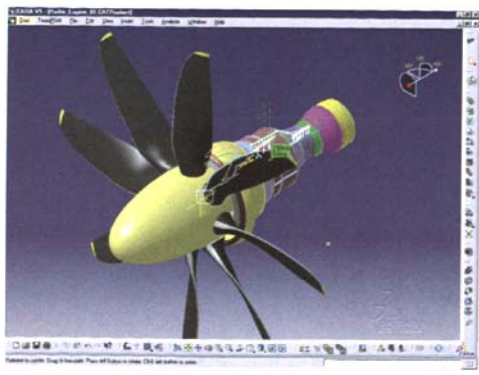
在整个产品生命周期内高效正确地管理各种并行的设计变更与工程更改,将多个业务系统之间的接口置放在以唯一数据源为基础的架构内,有效运用以唯一数据源为基础的应用程序来支持装配流程规划和工艺设计等业务,能够在产品全生命周期中快速响应设计变更和工程更改的要求,并确保工程信息和技术资料的完整性。

应用以唯一数据源为基础的产品流程资源数据库,针对各个不同的装配方案进行离散事件仿真,能够针对多产品混产情况分析评估物料流、生产效率和资源利用率。利用 PPR 数据库,能够进一步分析流程规划、资源配置与优先需求,以便平衡制造设施内的工作负荷,并提高人力资源使用率。

飞机装配仿真技术的关键主要可归纳为下列 5 个方面:

(1) 装配仿真环境的构建。仿真环境的描述与管理,装配动作与感觉信息间的相互关系,感觉信息的综合方法以及输入、输出的驱动规则等。

(2) 知识驱动下约束关系的自动生成和识别。在仿真环境中对装配的零件赋予机械、物理特性,并由此形成装配过程的作用力,使微观和瞬态的分析数据在虚拟空间中展现为可视的宏观和动作过程



螺旋桨组件的装配仿真

(3) 知识驱动的装配规划技术。

装配规划就是寻求一条最优的零件装配顺序序列,重点解决如何更形象地表现装配规划过程中信息的动态流动及其可视化;如何在生成装配规划过程中通过人机交互加入知识管理和融入人的智能;如何基于知识检查装配干涉和配合力分析。

(4) 人的知识和技巧的映射。为了使知识和智能融入装配规划的生成,需要研究人体模型在虚拟环境中的映射,正确检测和处理人的装配动作信号。

(5) 装配仿真系统的建立。虚拟装配系统由装配动作输入、虚拟装配环境、装配过程和判断装配正确性的感觉信息输出等四个子系统组成,研究其信息的集成以完成虚拟装配全过程的实施。

应用案例:某机翼中央翼组件装配工艺流程仿真

传统的2维工艺设计模式是由工艺设计人员在头脑中抽象构建3维装配空间、设计装配顺序,最终用平面方式表述;设计质量完全取决于工艺设计人员的技术水平和工作经验。操作人员需要根据工艺设计人员编发的文件及2维工程图纸在大脑中再次构建3维装配空间,理解装配顺序、装配要求,这对生产操作人员的素质要求较高。

另一方面,现有CAPP基于2维设计模式开发,不能充分利用上游产品的3维CAD数据,且对制造资源及装配工艺知识的描述是2维的。因此难以保证工艺数据的准确性,工艺设计工作量大、效率低、周期长,难以实现工艺设计的继承性、规范性、标准化和最优化。

为了探索装配工艺三维数字化设计基本思路及工作流程,我们以某飞机中央翼为例,应用基于PPR-HUB和知识的DELMIA软件进行了装配过程的工艺设计、优化和仿

真。

装配过程仿真在工程设计与产品制造之间提供了一个可视化的工艺设计环境,变过去工艺人员在2维环境进行工艺工作为在3维可视环境下真正的装配工艺流程设计,工艺人员在这个工作平台能够模拟整个装配过程,可以分析零组件在装配过程中任何一个具体的姿态,以及工装定位器、夹紧装置的使用等。装配过程可制作成AVI文件,置于生产现场指导生产和对工人进行培训。

通过装配过程仿真,发现中央翼产品设计和工装设计需要进一步完善的地方,主要问题是:

(1) 中央翼总装工作梯立柱位置不合理。操作人员是双手端着工具箱上到型架上,而图示立柱恰好挡住了操作人员上到型架上的路径。

(2) 操作人员从地面上到型架上,型架地板面距地面距离约500mm,以操作人员平均身高1720mm分析,其右腿抬得过高,此时人会失其重心,需要增设一级台阶。

(3) 操作人员行走在中央翼总装型架上,不安全,存有安全隐患。工装设计应在工装上铺设地板,便于操作人员行走。

(4) 操作人员要拿着工具钻进中央翼里工作,中央翼下壁板距型架地板约1350mm,操作人员很难钻进中央翼里工作。在此处工装对称两侧分别增设一个高800mm左右活动梯,便于操作人员钻进中央翼里工作。

(5) 操作人员工作姿势下,右腿与上部躯体夹角 106.532° ,接近极限 113° ,工作环境极为恶劣。应在中央翼下壁板铺厚海绵垫,改善工作环境,防止操作人员与结构直接接

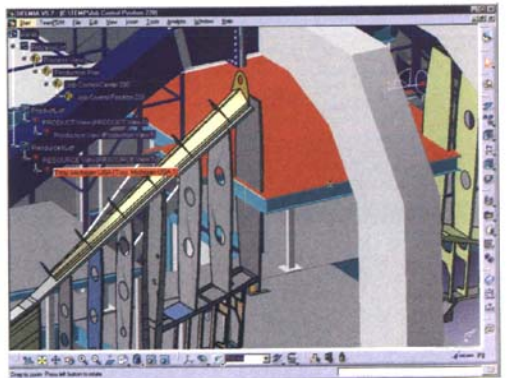
触,造成身体不适。

结束语

计算机仿真技术不仅可以有效地应用于飞机研制中,也可以有效地应用于制造工程与工艺设计,以模拟仿真为基础的验证优化过程、工艺指令的编制过程和制造工人的培训过程,让一个真正的无纸化信息和知识的应用变成现实。同时,也可以延伸到售后服务与维护修理作业的仿真验证过程等。

有效地运用计算机仿真技术,可以减少对物理样机的需求,降低成本,节省时间。在产品开发进程的后期结合最新的设计更改,来进行工装工具的设计制造,消除产品设计变更所带来的昂贵的工具工装的更改。在设计的前期,按照制造装配与维修工作的可操作性要求,进行设计优化和变更,因而能够减少对特殊工具工装的需求。

目前我国航空企业还都维持在传统的制造流程上,飞机装配从部件



机翼组件的装配仿真

铆接过程到整机大部件对接及装配基本上还采用手工作业或人工控制。随着数字化设计、数字化制造、数字化管理的全面推广应用,航空企业迫切需要提高数字化装配水平,缩短装配周期,以满足型号快速研制的需要。

(责编 制卫)