

装配仿真技术在飞机并行设计阶段的应用

Application of Assembly Simulation Technology in Aircraft Concurred Design Stage

沈阳飞机工业(集团)有限公司 郭洪杰

[摘要] 介绍了应用装配仿真的意义,分析了装配仿真与数字化预装配的区别与联系,提出飞机制造企业应用装配仿真技术的支撑平台和总体规划方案,结合装配仿真技术应用的实际情况,重点讨论了在产品并行设计阶段装配仿真技术应用所涉及的关键技术和解决途径。最后针对装配仿真技术应用的不足,提出了建议和展望。

关键词: 装配仿真 数字化预装配 装配仿真工艺模型 工程数据集 制造数据集

[ABSTRACT] The value of assembly simulation is introduced, and the difference and connection of assembly simulation and digital pre-assemble are analyzed. Combined with actual statement of assembly simulation, the key technologies and solutions associated with assembly simulation during concurred design stage are discussed in detail. And suggests and prospect for application is brought out according to the defect of assembly simulation.

Keywords: Assembly simulation Digital pre-assemble Assembly simulation model Project database Manufacturing database

数字化技术的应用使飞机设计制造模式产生了巨大变革,美国波音公司在研制 Boeing 777 的过程中,全面采用数字化技术,实现了三维数字化定义、装配过程仿真和并行工程,使工程设计水平和飞机研制效率得到了很大的提高,制造成本降低了 30%~40%,产品开发周期缩短了 40%~60%。目前,国内在飞机设计中已逐步采用数字化设计的解决方案,但飞机装配工艺设计仍然处在一个相对滞后的状态,在整个产品的生命周期中占据大部分时间。装配仍以二维工艺设计和表述为主,与数字化产品设计没有建立紧密的联系,缺乏与设计协同工作与交流的平台。飞机的可装配性及可维护性检查、工艺方案的比较和优化、装配工艺流程和工艺装备的合理性往往需要通过实物来验证,技术协调问题多,严重影响了飞机研制的进度和质量,这也一直是困扰企业生

产的瓶颈。

装配仿真技术的应用,打破了“设计—制造—评价”和“实物验证”这一传统模式,不需要实际产品做支持,有效地解决了以上问题,为工艺和工装设计提供了与产品设计共同的可视化交流和系统工作平台。使制造部门的工程技术人员能够尽早地参与到产品设计研发中去,与设计人员并行开展工作。在产品上游设计阶段即可消除潜在的装配冲突与缺陷、评价产品的可装配性,及早发现装配过程中的各种干涉问题,并将这些信息反馈给设计人员,结合人机工效评估结果对工艺方法、工装结构和生产线布局等进行修改和优化,帮助企业减少技术决策风险,降低技术协调成本;提高企业在产品开发研制方面的快速应变能力,适应激烈的市场竞争和不同的用户需求;缩小我国飞机行业型号研制能力与国际先进水平的差距;提高国际竞争能力和在国际合作项目中的参与地位,为新型号的研制开发奠定坚实的技术基础。

随着数字化制造技术应用的逐步深入,装配仿真技术已经成为优化工艺设计、缩短产品研制周期、降低研制成本的必要手段。

1 数字化预装配与装配仿真

在航空企业数字化、信息化实施过程中产生和应用了许多新的观念和技术,其中对飞机研制过程影响比较大的就是数字化预装配与装配仿真技术。虽然作为刚刚发展起来的新兴技术,这 2 种技术的概念还没有精确的定义,但从在航空领域的应用中看来,二者既有明显区别,也存在紧密联系。

装配仿真也可以称为装配过程仿真或装配工艺仿真,是工艺部门在产品数字化定义的基础上,利用计算机仿真环境对产品整个装配过程进行模拟与分析的一项综合应用技术。将产品与资源按实际装配工艺过程进行模拟试验,结合人机模型直观地分析产品的可装配性和可维护性,并生成相关的分析报告,来完成产品设计、资源设计、装配工艺设计、人机工程指标、装配生产

线布局的可行性和方便性研究。

数字化预装配是设计部门在数字化样机基础上进行的几何样机级的仿真, 主要对飞机设计的合理性、飞机的功能和性能进行仿真。其主要目的是对装配的几何约束、干涉问题进行检验, 验证飞机设计理论外形和结构的合理性。

制造过程的装配仿真与数字化预装配的主要区别就在于前者充分考虑了工装、工具、辅助设备和人员运动信息等资源与环境因素, 不仅考虑到装配过程的可行性, 更注重人体工作舒适度, 结合人机工效评估结果对工艺方法、工装结构和生产线布局等进行修改和优化, 以达到降低生产成本、缩短研制周期的目的。装配过程仿真是一个更复杂、更高层次的仿真。

数字化预装配是装配仿真的基础和前提, 在产品并行定义过程中应先进行数字化预装配, 之后进行装配仿真; 数字化预装配使用工程数据集, 装配仿真使用制造数据集。本文中制造数据集是指添加了制造过程所用装配孔、余量和制造基准等工艺信息的工程数据的集合。数字化预装配由设计人员来完成, 装配仿真由工艺人员来完成, 其仿真结果构成 MBOM。数字化预装配与装配仿真是相辅相承的关系, 在产品并行设计阶段共同实现优化设计、消除潜在装配缺陷与冲突的任务。二者的主要区别对比见表 1。

表 1 数字化预装配与装配仿真的对比关系表

项目	数字化预装配	装配仿真
验证目标	飞机设计的合理性, 飞机的功能和性能	产品设计、资源设计、装配工艺设计、人机工程指标、装配生产线布局的可行性和方便性
人员	设计人员	工艺人员
验证对象	工程数据集 (几何样机)	制造数据集 (工艺样机)
影响因素	装配的几何约束	装配的几何约束; 资源环境因素; 人机功效评估
结果	EBOM	MBOM

2 装配仿真技术在国内航空企业的应用

装配仿真技术在国内的研究和应用起步相对较晚, 近几年在船舶、飞机、汽车等领域的产品研制与开发中显示出巨大的作用和发展潜力, 受到学术界和工业界的广泛关注和高度重视, 成为当前研究的热点之一。与发达国家航空业的“无纸设计, 虚拟制造”相比, 我国在飞机的数字化虚拟装配方面存在较大差距, 对装配仿真技

术的应用研究仍处于部件级的探索应用阶段, 没有突破装配仿真应用的关键技术, 无法实现全机范围的装配仿真验证, 而且没有形成统一的标准, 难以在行业内广泛应用。因此, 进行装配仿真技术应用研究具有理论意义和实用价值, 是缩短新机研制周期、降低研制成本的关键, 也是实现新一代军机快速研制的迫切需求。

2.1 装配仿真总体方案规划

一般情况下, 应用装配仿真技术需要进行如下几个阶段的工作: 总体方案规划、搭建应用平台、创建基础数据库、编制技术规范和装配仿真验证。

总体方案规划阶段较为关键的问题是软件的选择和确定仿真系统与企业现有应用系统的数据关系及其在企业中的应用定位, 以保证数据的有效传递和统一。由于国内航空领域普遍使用达索系统的 CATIA 进行产品开发和设计, 为便于实现产品 CAD 模型信息的共享, 装配仿真软件应选择与 CATIA 软件匹配的 DELMIA 软件进行二次开发。

波音公司采用 CATIA 进行产品设计, DELMIA 完成仿真规划和三维工艺设计, ENOVIA (LCA) 进行数据与工作流程管理, 三者形成底层完全共享的 3DPLM 解决方案。但我国飞机研制存在具体国情, 如飞机设计所和制造厂具有独立的数据管理系统, 而且多年前就已经开始应用产品数据管理系统。因此, 在原有数据管理系统和仿真系统之间进行数据传递存在一定困难。而 DELMIA 与 CATIA 之间可实现无缝集成, 因此, 将装配仿真工作定位在产品并行设计阶段更为有利。装配仿真系统与其他系统并行工作数据关系如图 1 所示。装配仿真系统采用与产品和工装设计并行的方式。前期直接应用设计所数据进行仿真和工艺规划, 工艺信息发布和流程控制由厂内数据管理系统完成, DELMIA 仿真结果作为编制 CAPP 的依据。

为保证及时发现问题, 避免不必要的重复工作, 总体规划时应对产品和工装设计成熟度以及装配仿真工作并行数据协同状态进行规定。经实践验证宜划分为 3 个阶段: ① 产品方案设计阶段。进行工艺总方案设计与论证、工厂布局和设施规划。② 产品详细设计阶段。进行工艺细节方案的设计验证, 确定总体装配协调方案。③ 产品数模预发放阶段。进行装配仿真验证。

2.2 搭建装配仿真应用平台

装配仿真技术应用平台应能满足型号研制中各部门协同工作和全机装配仿真的需求, 并实现对装配仿真

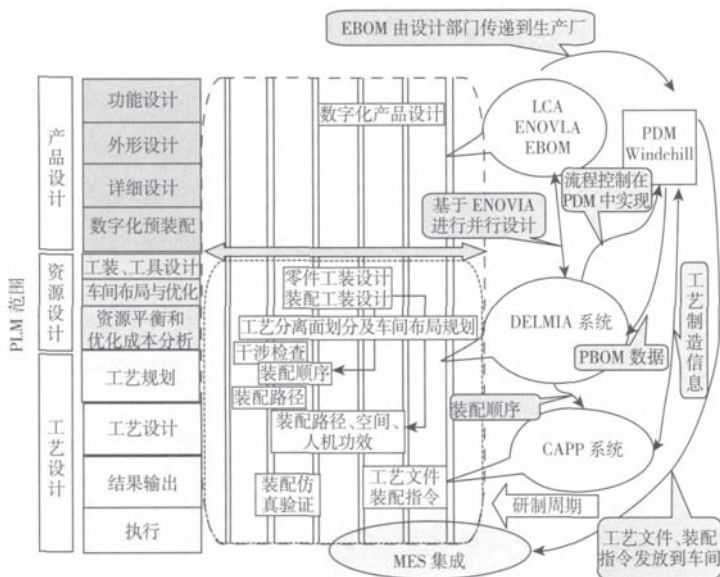


图1 装配仿真与各系统并行工作关系

Fig.1 Relationship between assembly simulation and system concurred work

数据的有效性管理。全机装配仿真对网络环境和计算机性能的要求较为严格,如果配置不合理,就会给企业带来沉重的负担,使仿真技术难以推广应用。

本课题以某型机全机总装仿真为例,简述装配仿真应用平台的建设概况。装配仿真应用平台宜建成分布式网络化协同工作环境,其范围要涵盖工艺设计部门、工装设计制造部门、零部件制造部门和装配部门等主要产品模型的使用单位,并配备专用服务器(PPR Server, License Server和File Server)。不同的用户采用权限管理控制读写功能,各部门以满足型号装配仿真应用需求和成本最低为原则配置客户端。一般客户端可采用内存不小于1G的普通PC机,数量根据型号研制需求及公司长远发展规划确定。全机装配仿真终端需采用64位操作系统和配套的DELMI A软件(现有32位操作系统不能满足全机总装仿真需求,不支持超过3G以上的内存调用),数量应不少于3台,各终端要求具有独立的图形显卡。安装ORACLE9i、JAVA1.4.1、DELMI A DPE、DELMI A DPM和DS Solution Service Pack6等软件。

2.3 创建装配仿真资源模型库

装配仿真环境的拟真程度决定了装配仿真的质量。没有根据装配现场数据建立的装配仿真资源模型做支撑,仿真工作将是空中楼阁。装配仿真资源模型库的建立应以企业现有装配资源信息为基础,对装配车间通用设备、刀量具、辅助工具、工装、器件、检测工具、辅助工装、地面试验设备、自制工具、外购工具、装配厂房和装

配工人等资源信息进行分类汇总,运用科学的统计分析方法从中筛选出生产中常用的、有代表性的和关键的资源信息,整理成装配仿真资源建模目录,并依据企业相关标准及国家或行业标准规定,对所有资源模型进行编码归类。遵循统一的建模规范创建各类资源模型,按不同层次实现装配仿真资源模型库结构的定义。通常情况下装配仿真资源库需要包含厂房、设备、工具、工装、器件、刀量具、检测工具和人员等资源信息。创建资源库的关键是库的结构定义、编码方法、模型种类等,每个企业根据自身特点,其库的结构定义也不尽相同。

2.4 编制装配仿真技术规范

装配仿真工作将涉及产品设计、工装设计、工艺设计和现场装配等诸多环节和多部门的协同,因此,必须建立一整套规范来约束企业各部门之间的工作,包括工作流控制制度、装配仿真模型创建方法、工艺流程设计规则、干涉分析原则及判断标准、人机工程应用标准、装配仿真问题反馈和仿真数据管理等一系列内容,明确设计人员与工艺人员的分工和责任,确定装配仿真的工作内容和基本方法。避免因缺乏统一的标准而导致对潜在的干涉问题判断不清,疏漏一些可以提前发现并避免的问题,给企业造成不必要的损失。

2.5 装配仿真验证及结果输出

装配仿真工作流程如图2所示,仿真验证实施的几个关键步骤如下:

2.5 装配仿真验证及结果输出

装配仿真工作流程如图2所示,仿真验证实施的几个关键步骤如下:

- ① 数据准备。数据导入及规划,建立装配仿真模型,确定资源模型,创建装配工艺流程库文件。
- ② 装配过程仿真。按实际生产布局建立虚拟装配环境,静态干涉检查,装配顺序验证,装配路径及装配空间干涉验证,人机工程验证。
- ③ 优化工艺设计。包括优化工艺流程、优化设计、人机工效评估、数据更改与管理。
- ④ 装配仿真结果输出。包括MBOM、装配动画、装配指令等。

3 装配仿真关键技术研究

3.1 装配仿真工艺模型的建立方法

装配仿真调用的产品数据量随着装配的逐级深入将呈几何级数增加,而且服务器中会存在大量冗余数据,在现有的技术条件下,如果不对产品模型进行必要的处理,实现全机的装配仿真几乎是不可能的。调用数

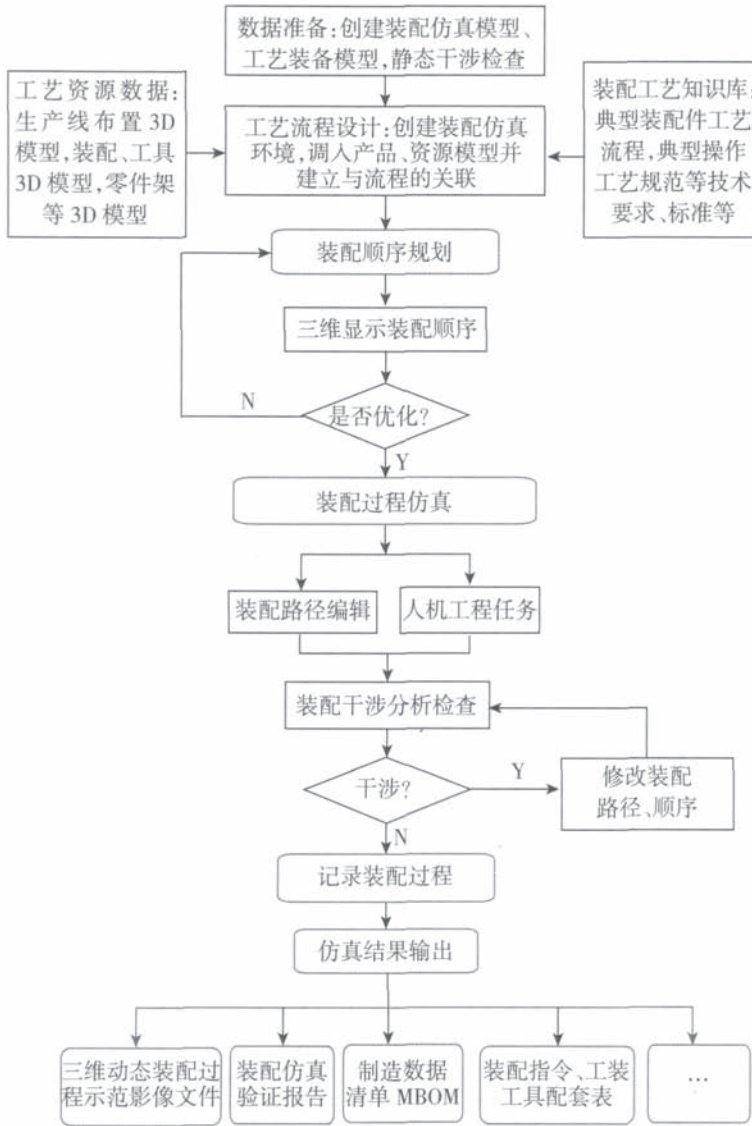


图 2 装配仿真工作流程

Fig.2 Assembly simulation work flow

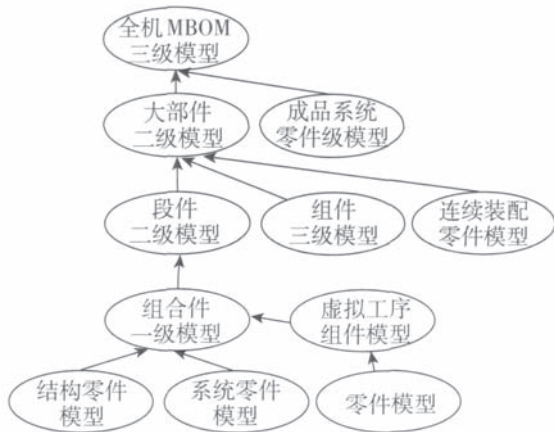


图 3 各级装配模型的关系

Fig.3 Relationship of assembly models at each level

据量与计算机性能的冲突是实现全机装配仿真的关键技术难点之一。

在深入研究装配仿真模型文件的应用特征和装配工艺设计知识体系的基础上,结合公司现有条件,综合分析软硬件性能需求,并经过大量的试验测试,提出创建装配仿真工艺模型的解决方案。利用装配仿真工艺模型进行仿真验证可以大幅度减少数据存储量,简化数据格式,降低对计算机性能的需求。经某重点机型全机对接和总装系统装配仿真工程验证,该技术的应用能够解决装配仿真应用的瓶颈,在国内首次实现整机的装配仿真验证。

装配仿真工艺模型是进行装配仿真的基础数据,是工艺人员根据装配层次的需要和工艺分离面的划分原则对工程数据集中的零部件进行重组,并引入必要的工艺信息后建立的产品工艺模型,与装配系统图中的装配单元对应。根据装配层次可分为 3 级:一级模型仅包含零件,对应于装配系统图中的组件装配;二级模型由一级模型和零件构成,对应段、部件装配;三级模型由一、二级模型和零件构成,是全机装配模型,他们的装配关系如图 3 所示。各级模型参加下一级装配时必须采用简化格式。对于各级模型中的活动构件需要单独处理,在不影响仿真效果的前提下,以尽可能的简化格式与其安装组件结构并列存在。

3.2 装配仿真辅助设计工具模块开发

DELMIA 软件应用过程中存在建立装配仿真工艺流程结构树 (CATprocess) 时不能对工艺流程库 (act) 文件进行批导入的缺点,必须遵循先创建工艺流程库 (act) 文件,再逐个导入工艺流程结构树的原则,创建一个工艺流程需要做 2 次基本雷同的工作,工作效率非常低。装配仿真辅助设计工具模块 (如图 4 所示) 的开发有效地解决了这一难题,利用该模块能够自动创建工艺流程库 (act) 文件和工艺流程结构树 (CATprocess) 文件,并可实现工艺流程结构树的批导入,简化了装配仿真工作环节,避免创建工艺流程结构树的重复工作,使仿真工作效率提高了 30%。

(下转第 71 页)

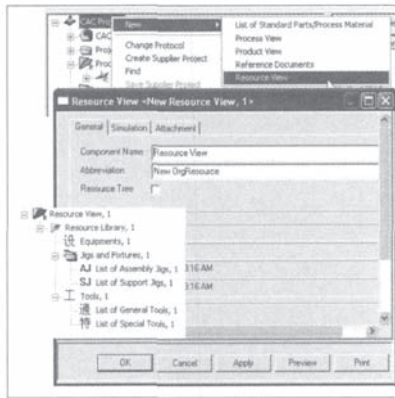


图3 资源导入

Fig.3 Import of Resource

的三维装配空间,凭借自身的技术水平和经验设计装配顺序,最后用文字描述装配信息。而现在依靠虚拟装配仿真技术可以在计算机上完成三维数模的装配顺序制定及零件装配过程的控制,装配工艺设计质量不再取决于工艺人员的技术水平和工作经验,避免了因对装配信息理解的二义性所造成的装配错误。

② 更形象、直观。

由于最终形成的装配顺序是动画形式的,所以不论是第一次接触的的操作者还是对该产品结构不熟悉的人员,都能在短时间内对要装配产品的结构及装配顺序有所了解,并能理解工艺人员的装配工艺设计。由于二维装配信息不能准确描述装配过程,所以装配细节被淡化,容易造成零件无法装配到准确位置上,而虚拟装配仿真软件却能准确地表达装配过程,避免了上述错误的发生。

③ 装配工艺设计的优化。

由于传统装配工艺设计以二维表述为主,工艺设计环境不具备三维工艺验证能力,使得装配中是否干涉、装配顺序是否合理、工艺装备是否满足装配需要、操作空间是否开敞等一系列问题在产品试制阶段才能暴露出来。任何一个环节出现问题,都会影响飞机研制的周期、质量和成本。而使用了虚拟装配仿真软件可以使这些问题在产品阶段就能发现,减少了产品数模的更改和工装实体的返修,减少装配工艺设计的更改,有效地缩短了飞机装配周期,保证了飞机研制的质量和进度。

参 考 文 献

[1] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.
 [2] 布斯劳. 面向制造与装配的产品设计. 北京:机械工业

出版社,1999.

[3] 黄垒,夏平均,姚英学. 虚拟装配工艺设计技术研究与应用. 现代制造工程,2007 (7): 52-55. (责编 小颖)

(上接第 68 页)

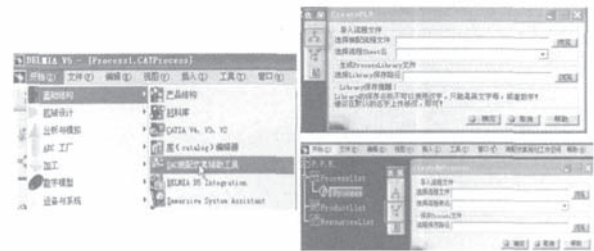


图4 自主开发的装配仿真辅助工具模块

Fig.4 Assembly simulation assist tool block of innovation

4 总结与展望

沈飞公司在某型机研制中应用装配仿真技术,对全机部、总装主要装配单元进行仿真验证,提前发现并解决产品设计、工装设计和工艺流程设计等各类对装配影响严重的若干项干涉问题,使现场协调问题大幅度减少,典型部件装配周期缩短 30%~50%。经实践证明,装配仿真技术的应用可以强化各部门的协调能力,实施并行工程,提前发现并解决产品、资源和工艺设计中存在的各种问题,优化装配工艺,减少技术决策风险,降低技术协调成本,而且能生动直观地展示产品的装配过程,满足企业装配现场可视化培训指导的需求,这对于改善产品装配质量,提高装配效率具有重要意义。但在应用中也存在一定的缺陷:

① 现有装配仿真软件在人机应用方面不够便捷。如人体模型没有自适应能力,需要交互设置姿态,且生成的姿态不够灵活实用,甚至不合理;人体负载能力需要凭经验判断,无分析功能等。

② 能够发现理论上存在的装配干涉,但不能分析生产中常见的应力装配问题,对于装配误差积累的分析、装配顺序对装配应力的影响、零件制造误差对装配方案的影响等缺乏分析和预见的手段。

③ 当前虚拟装配涉及到的技术和表达方式没有建立统一的标准,影响了该技术在行业内的应用效果。

综上所述,装配仿真技术的应用研究如结合装配公差分析技术、有限元分析技术和虚拟现实技术综合应用,将会取得更好的应用效果。此外,要建立完善的技术规范支撑装配仿真技术的应用才能得到较好的效果,实现装配仿真技术应用的标准化是发展的必然趋势。

(责编 淡蓝)