

虚拟装配技术在 ARJ21 机头部件装配中的应用

Application of Virtual Assembly Technology on ARJ21 Head Parts Assembly

成都飞机工业(集团)有限责任公司 韩 维 许旭东 曾宏川 贾朝定



韩 维

研究员级高级工程师,北京航空航天大学工程硕士,现任成都飞机工业(集团)有限责任公司副总工程师,国家“九五”重点科研项目“ARJ21 新支线客机”机头项目项目经理,长期从事民用飞机及转包生产项目的管理和研究。

ARJ21 是 70 ~ 100 座级,以涡扇发动机为动力,航程为 2000 海里(3704km)的中、短航程支线飞机,拥有支线客机中最舒适的乘坐环境,与 150 座级干线飞机具有相近的飞行性能和舒适性。2003 年 12 月 20 日,ARJ21 飞机在上海、西安、成都、沈

阳 4 地同时开工,该项目的启动是我国民机产业发展的重要里程碑。

装配工艺设计是现代飞机制造业的基础工作,是连接产品设计与产品制造的桥梁,装配工装设计的合理性、正确性直接影响企业制造资源的配置、优化、产品质量、生产组织效率、产品成本及制造周期等方方面面。

阳 4 地同时开工,该项目的启动是我国民机产业发展的重要里程碑。

虚拟装配技术在 ARJ21 机头部件的应用及其意义

飞机装配是新机研制过程中最重要的环节之一,占据整个飞机制造周期约 1/2 的时间。装配工艺设计是现代飞机制造业的基础工作,是连接产品设计与产品制造的桥梁,装配工装设计的合理性、正确性直接影响企业制造资源的配置、优化、产品质量、生产组织效率、产品成本及制造周期等方方面面。在过去的每一次新机研制中,企业都选派了经验丰富的工艺工程师、工装设计员参与其中,尽管如此,工艺设计不合理、零件返修、工装返修的情况仍层出不穷,造成企业资源的浪费和生产周期的延误。造成这种状况的根本原因是飞机设计与装配工艺设计仍停留在

二维的基础上,工艺、工装设计员对飞机结构和装配过程的理解只能通过二维图纸的形式表达,设计员只能在自己头脑中想象。这需要设计员有长期实际工作的锻炼和经验,即便如此,疏漏也在所难免。

随着计算机技术的飞速发展,数字化技术的应用从根本上改变了传统的飞机设计与制造方式,大幅度提高了产品的设计水平与开发速度,最大限度地降低了设计返工与制造返修的几率。国外先进飞机制造企业从 80 年代后期就开始进行数字化设计及虚拟装配技术的研究,并成功地运用到新机研制中。美国在 Boeing777 客机、联合攻击战斗机 F-35 的研制中全面采用了数字化技术,实现 100% 的产品三维数字化定义、100% 的数字化预装配,并实施了并行工程,使得开发周期从过去的 8 ~ 9 年缩短到 4.5 年,设计成本降低

了25%,出错与返工率减少了75%,保证了飞机设计、制造、试飞一次成功,取得了显著的综合经济效益,并且具有重要的军事价值。

ARJ21 是我国第一个采用先进制造技术、具有自主知识产权的民用飞机,其零组件100%采用了CATIA三维数字化定义。机头是飞机整个机体结构中最复杂、装配制造难度最大的部件之一,成飞公司在ARJ21项目中承担了机头的研制工作,ARJ21机头零件数量多,且目前设计采用钣金件较多,其装配精度不易控制,装配关系也较复杂,而且ARJ21项目研制周期十分紧张,如何在时间紧、任务重的情况下确保机头的优质准时交付是成飞公司ARJ21研制进程中

面临的最大困难之一,而采用基于设计提供的机头三维数模基础上进行工艺设计的虚拟装配制造技术是解决问题的最佳方案。通过虚拟装配技术的运用,可以实现工艺设计与设计资源共享、并行工作,缩短工艺准备的周期,提高工艺设计的准确性,大幅度降低零件、工装制造返工的成本,从而节省了项目整个制造周期;通过运用虚拟装配技术,工艺人员在产品投入以前即可发现产品设计、工装设计的错误,从而减少产品在装配过程中的返工和报废,缩短装配制造周期;通过运用虚拟装配技术可对装配车间的工人进行可视化培训,方便其快速理解装配过程。

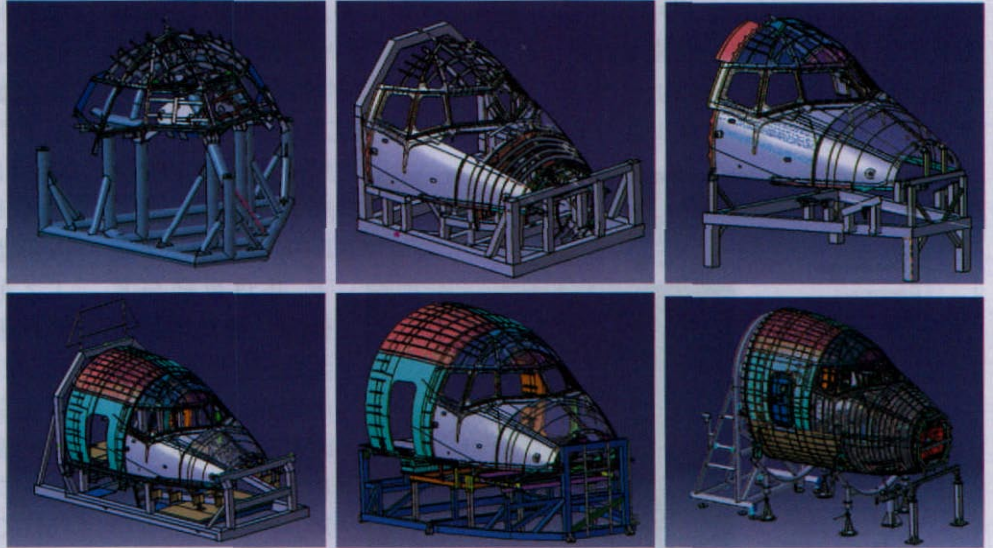
ARJ21 机头部件中 虚拟装配技术应用情况

在ARJ21飞机机头研制过程中成飞公司进行了虚拟装配仿真技术实际的工程应用,完成4235项结构零件、16个装配工位、73本AO的装配仿真,提前发现设计、工艺、工装设

计问题共计46项,为ARJ21飞机机头2006年12月底优质准时交付提供了有力的技术保障。

1 首次采用了全三维工装设计

ARJ21飞机装配工装设计以产品数模设计制造为依据,建立了三维



ARJ21机头大型装配型架

工装模型,并且以此为工装的制造依据,这为实施虚拟装配技术,真实地反映工艺设计、工装设计中存在的问题提供了前提条件。

2 设计、工艺、工装设计并行工作

设计部门(一飞院)的ARJ21数字样机通过协同工作平台按基线(成熟度)发放到公司PDM平台后,工艺部门就开始工艺设计,并在设计的同时完成工艺性评审和工装订货。与此同时,工装部门基于同样的PDM平台开始工装设计,保证了数据的唯一性。此时设计、工艺、工装3个部门并行完成自己的工作。待工装设计和工艺设计完成的时候进行装配工艺仿真,在仿真中发现的产品设计、工装设计的问题通过协同平台及时反馈到设计部门和工装部门。

3 基于电子样机的数字化装配工艺设计技术

- 三维环境中机头工艺分离面划分。

- 三维环境中装配工位的划分与装配流程设计。

- 三维环境中段件装配方案的设计。
- 三维环境中详细装配工艺设计。
- 装配生产线三维工艺布局设计。

4 数字化装配过程仿真技术

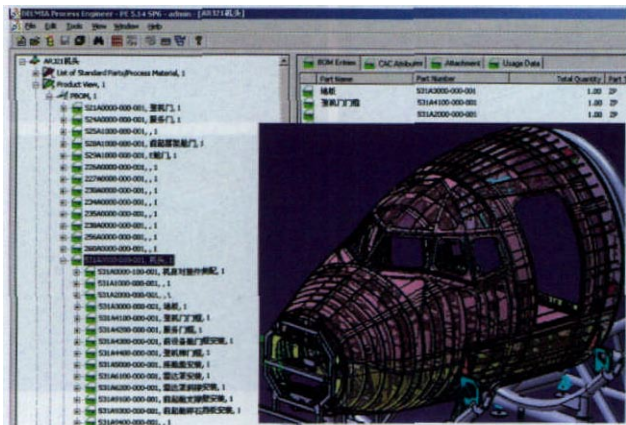
由于ARJ21机头结构零件数量多,装配关系复杂,又需要大量的制造资源支持,致使装配工艺设计难度很大,仅凭工艺工程师的个人的经验,在装配工艺过程设计中难免出现各种工艺设计错误或工艺设计不合理的情况,如果这些错误在产品实际装配过程才发现的话,会造成大量的产品、资源返工和工艺修改,甚至整个工艺布局和装配流程的调整,给制造周期、生产成本等带来不可估量的损失。所以三维数字化装配过程仿真是产品实物在实施装配以前对已设计好的装配工艺进行验证的最佳方法,其优点是时间短、费用低。利用装配过程仿真,对装配干涉、装配顺序、人机工程、装配车间工艺布局等方面进行了仿真验证。

ARJ21 机头虚拟装配技术 应用实施过程

1 建立用于ARJ21的三维数字化装配工艺设计和装配过程仿真系统

成飞公司在 ARJ21 飞机机头装配工艺设计中采用了 DELMIA 实施平台。

DELMIA 软件系统包括 2 个相互关联的独立软件——DPE (Digital Process Engineer) 与 DPM (Digital Process Manufacture), 其中, DPE 为数字化工艺规划平台, 它建立产品数据、资源数据和工艺结构, 并将 3 者有效地关联在一起, 实现工艺方案



导入 PBOM

的评估、各种数据的统计计算、装配工艺结果的输出等; DPM 提供工艺细节规划和验证应用的虚拟环境, 以产品、工装的三维模型并结合 DPE 已设计好的工艺流程进行数字化装配过程的仿真验证, 二者通过唯一的 PPR Hub 数据库共享数据。

- 构建数字化网络协同平台, 使工艺设计部门、工装设计部门均能够从平台上获得 ARJ21 的数据;

- 产品设计、工艺设计和工装设计全数字化。ARJ21 飞机和装配工装完全采用三维数字化建模, 工艺规划、工艺过程设计及仿真验证都在三维的 DELMIA 环境下进行;

- 中航商飞公司对 ARJ21 飞机及其工装数模制定了统一的建模标准, 成飞公司也专门针对 ARJ21 虚拟装配技术的应用制定了一定的试用标准, 数据的标准化为项目的顺利实施奠定了基础。

2 导入飞机设计数据, 为后续工艺设计做准备

一飞院提供的原始制造依据有 ARJ21 机头三维数模和 EBOM (细目表), 工艺规划部门通过 PDM 平台取得这些数据, 通过一个自主开发的 CATIA VBA 程序将电子样机中零、组件、标准件在全机数模中的位置坐标读取出来, 并附加到 EBOM 里面, 同时根据 ARJ21 项目的具体要求, 添加更多的其他工艺信息, 将 EBOM 转换为工艺部门的 PBOM,

然后通过特定的程序将 PBOM 读入 DPE 中的产品节点下, 并将数据与零件的三维模型进行关联, 这样在 DPE 中编制工艺的任何时候都可预览零件和组件的三维图形。

3 三维数字化装配工艺设计

装配工艺设计是在针对 ARJ21 机头结构分析的前提下, 在现有制造能力的基础上, 由车间工艺人员制定机头各工艺组件的装配流程, 确定装配方法, 并定义各装配环节所需要的制造资源。在数字样机基础上进行的装配工艺设计过程主要任务是:

(1) 生成 IMBOM。

ARJ21 的设计几乎都按功能来划分组件、装配件, 而各飞机制造厂由于装配工艺方案的不同, 划分出的工艺组件与设计组件往往是不一致的。以 ARJ21 机头为例, SD110 框、SD160 框、SD218 框各是一个设计组件, 多块外蒙皮壁板是一个设计组件, 排水系统是一个设计组件, 当生产中装配成“机头下部”这样一个工艺组件时, 需要从上述的各个设计组件中调用属于下部的那些零、组件, 而在庞大的 PBOM 数据中找到这些零、组件将是非常不容易和费时的工作。DPE 提供了一个“show graphics” (图形预览) 的功能, 借助

于这个功能, 工艺人员可以简单地查看 PBOM 下任一装配件的组成情况、图形外形, 而对于来自于这些设计组件中零件项目形成的工艺装配件的状态则无法预览。

如何让工艺人员在进行工艺规划时就能大致清楚工艺装配件的状态、外形呢? 成飞公司应用虚拟装配技术过程中创造性地提出了“IMBOM” (Initialization Manufacture Bill of Material) 的概念, 即在“IMBOM”节点下由工艺人员建立相应的工艺组件结构, 构建工艺组件模型, 将 PBOM 下的零/组件根据需要通过拖拽的方式拖拉到 IMBOM 下, 建立一个与 PBOM 下完全一致的映象, 原数据未改变, 在后面关联产品数据到工序上时直接从“IMBOM”中引用数据。生成 IMBOM 实质就是工艺分离面划分的过程, 这部分工作由工艺规划部门完成。

(2) 建立工艺结构。

在工艺分离面划分和各装配车间职责分工的基础上, 工艺规划部门需要设计大部件的工艺流程, 在“process”下建立属于各车间的工艺结构, 并且在更下一级根据装配方案确定装配工位的设置, 制定出全机各工位之间的装配流程图。

(3) 装配工位的划分与装配流程设计。

在工艺分离面划分的基础上, 对每个工艺大部件进行初步装配流程设计, 车间工艺人员将整个 ARJ21 机头装配划分为 16 个装配工位, 确定在每个工位上装配的零组件项目, 在三维数字化设计环境下构建各装配工位组件装配的工艺模型, 确定装配工艺基准和装配定位方法, 并制定出全机各工位之间关系的装配流程图。

(4) 段件装配方案的设计。

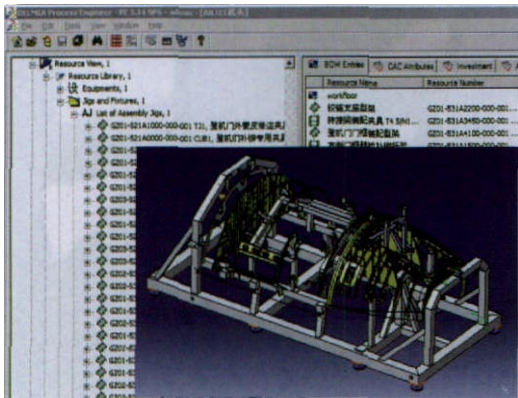
在工位划分的基础上, 依据段件装配工艺模型在三维数字化环境下

进行各工位内的装配过程设计,确定每个工位内的段件装配工艺模型零组件的装配顺序,以及需要由多少个装配过程实现,并定义装配过程对应的 AO 号、每本 AO 需要装配的零组件项目及工作的内容,制定反映工位内各 AO 关系的 AO 装配流程,提出装配工装、夹具的订货技术要求。

(5) 根据装配工装、夹具的订货技术要求,工装部门以三维数模的形式设计装配型架、对合型架、精加工型架、补铆夹具等。

(6) 制造资源的定义。

资源是一个广义的概念,指参与装配过程的所有非产品的实物元素,如装配夹具、机床设备、工具量具、人、车间厂房等。分别在 DPE 项目结构树的“resource”下建立上述元素的节点,填入必要的属性信息,最重要的是将这些元素指向该元素的三维模型文件,只有这样才能在 DPM 的仿真环境中成功调入该元素的三维模型。在环境中对车间、装配工位、装配工装、夹具、工作平台、托架等制造资源,依据工艺划分和装配



构建资源结构树

流程进行设计,构建资源结构树。

(7) 详细装配工艺设计。

在 AO 划分的基础上进行详细的工序设计,确定每一步工序的工作内容、需要装配的零件项目以及需要使用到的制造资源。DPE 中通过拖拽的方式将产品、资源与相应的工序建立联系,随着与工序关联后,产品的剩余数量属性项会随之减少。

在三维数字化环境下确定该装配工艺过程零组件、标准件、成品等装配顺序,明确装配工艺方法、装配步骤,并选定该装配过程所需要的工装、夹具、工具、辅助材料等一系列的制造资源,形成用于指导生产的 AO。详细的 AO 文字内容可以在仿真验证后不断补充。

4 三维数字化装配过程仿真

三维数字化装配过程仿真时间短、费用低是产品实物在实施装配以前对装配工艺进行验证的最佳方法,工艺人员以交互方式操作 ARJ21 三维模型,利用产品、资源的形状特性在 DPM 仿真环境里真实地模拟飞机的装配过程,用于实物装配前分析产品的装配特性,验证工艺设计的合理性,通过发现问题不断地优化工艺方案。在三维仿真环境中,通过调用 PPR 数据库中存储的工艺设计信息,进行装配仿真验证。

(1) 装配干涉的仿真。

在虚拟环境中,依据设计好的装配工艺流程,通过对每个零件、成品和组件的移动、定位、夹紧和装配过程等进行产品与产品、产品与工装的干涉检查,当系统发现存在干涉情况时报警,并给出干涉区域和干涉量,以帮助工艺设计人员查找和分析干涉原因。

(2) 装配顺序的仿真。

在虚拟环境中,依据设计好的装配工艺流程,对产品装配过程和拆卸过程进行三维动态仿真,验证每个零件按设计的工艺顺序是否能无阻碍地装配上去,以发现工艺设计过程中装配顺序设计的错误。

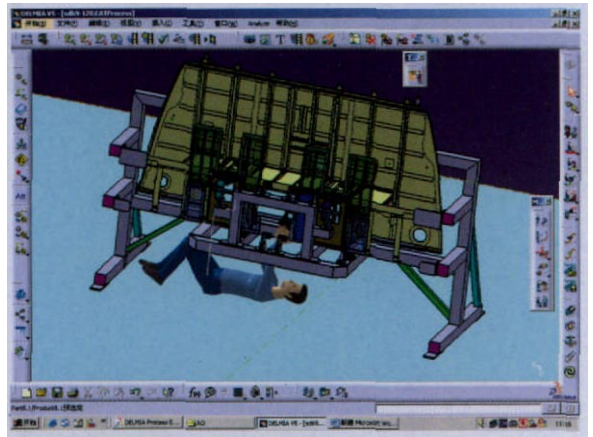
(3) 人机工程的仿真。

产品装配的过程,少不了人的参

与,产品移动的过程也就是人动作的过程。在产品结构和工装结构环境中,按照工艺流程进行装配工人可视性、可达性、可操作性、舒适性以及安全性的仿真。

(4) 输出 AO 及相关报表。

对整个机头装配工艺过程仿真



人机工程的仿真

验证无误后,根据需要输出了 AO 及相关报表(MBOM、工具清单、标准件清单等),用于指导生产。

(5) 可视化装配与人员培训。

把 ARJ21 机头所有进行的仿真结果生成 AVI 文件,通过在生产现场指导工人对飞机进行装配,帮助工人直观了解装配全过程,实现了可视化装配。

结束语

成飞公司近年来大力发展先进的三维工艺设计技术,通过对基于数字样机的飞机三维工艺设计与虚拟装配的研究,并在 ARJ21 等新机型上的成功应用实施,改变了国内航空业工艺设计数字化相对落后的现状。这些新技术的发展情况说明,飞机制造技术正沿着工艺模拟、仿真验证、实时监控、智能化、数字化制造方向发展。自顶而下的并行产品设计、工艺设计以及与相关的可制造性设计和可装配性设计仿真验证已成为飞机数字化装配工艺过程设计的发展方向。

(责编 微凉)