

某型号卫星虚拟装配技术研究及应用

Research and Application of Satellite Virtual Assembly Technology

上海卫星工程研究所 侯 鹏 张丽新 杨碧琦 杨国云

[摘要] 虚拟装配技术可以有效支持工艺方案的仿真验证和优化,是卫星研制的重要技术手段。利用虚拟装配仿真软件,对卫星的装配流程和关键技术进行研究,并结合某型号卫星,进行装配顺序规划、装配干涉检查、人机工程仿真,可以在早期设计阶段就对卫星装配方案进行性能测试和评估,迅速分析出方案的可行性,尽早发现设计缺陷,从而有效地指导工人的操作,保证装配的质量。

关键词: 卫星装配 DELMIA 装配工艺仿真

[ABSTRACT] Virtual assembly technology can effectively support the process simulation and optimization program. It is an important technique for satellite development. It can study the satellite assembly processes and key technology by using virtual assembly simulation software. It contains the assembly sequence planning, assembly interference checking, human engineering simulation, making it early for performance testing and evaluation program. It effectively guides the operation of the workers and ensures the quality.

Keywords: Satellite assembly DELMIA Assembly process simulation

目前,在国外,虚拟装配仿真技术已形成了由政府、产业界、大学组成的多层次、多方位的综合研究开发力量。典型的应用如波音 787 飞机。该飞机的设计是完全没有实物,利用虚拟技术将 300 多万个零件装配成数字样机,整个飞机的设计完全是在虚拟环境中完成的,并在虚拟环境中实现了飞机的设计、制造、装配的一气呵成。波音 787 对接总装仿真如图 1 所示。

在国内,西安飞机设计研究所在中国飞机研制中率先采用虚拟制造技术,设计了飞机全机规模电子样机,航空领域的其他单位也早已建立了虚拟装配体系;北京空间飞行器总体设计部在整星级总装设计中建立了卫星数字化总装三维设计模型,率先在卫星总装中应用了虚拟装配仿真技术,将工艺设计提前到了总体设计中;南京航空航天大学对微小卫星的虚拟装配仿真技术进行了研究,并将成果应用在“天巡者”上,给出了完整的微小卫星虚拟装配流程^[1-3]。

70 航空制造技术·2011年第22期

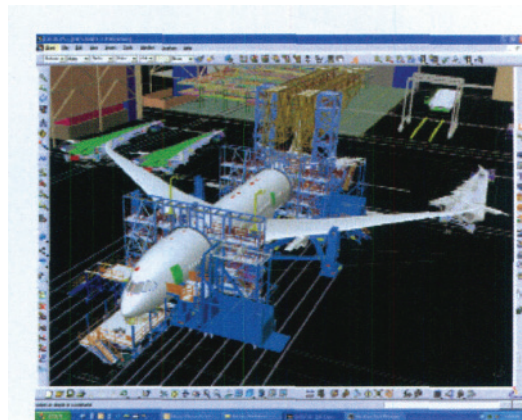


图1 基于数字样机的波音787对接总装仿真
Fig.1 Boeing 787 prototype based on digital simulation of docking assembly

由于卫星零部件多、结构复杂,装配工艺设计不可避免地存在各种设计错误或不合理问题,而这些问题往往要在卫星实际总装过程中才能发现,造成了产品、周期、人力和费用的损失,从而无法适应卫星型号生产的要求,因此寻找一种更高效的工作模式已迫在眉睫。

1 虚拟装配仿真

DELMIA (图 2) 基于达索公司 V5 PLM 整体的、开放的基础架构,以 PPR 数据模型为核心,使企业在产品的整个生产过程中,各个部门能够依据 3D 产品信息协同地进行工作,持续不断地进行工艺创新与验证,同时让参与制造的每一个人都能实时获取产品、工艺和资源的最新信息^[4]。

卫星装配工艺规划的基本流程如图 3 所示。在设计部门进行卫星数字样机设计时,工艺人员可通过平台共享卫星样机数据,并对数字样机进行工艺审查,对指令性工艺文件进行编制;工装设计部门可同时对卫星的工艺装备进行设计或构想,运用 DELMIA 制定数字样机的装配顺序并仿真验证,为后续的装配工艺规划做好准备。当数字样机的设计冻结时,基于数字样机的装配工艺规划也已完成。这时,工艺人员可对装配体进行质量特性计算,并完成装配工艺流程的发布^[5]。具体包括以下几个方面:

(1) 建立虚拟装配环境。

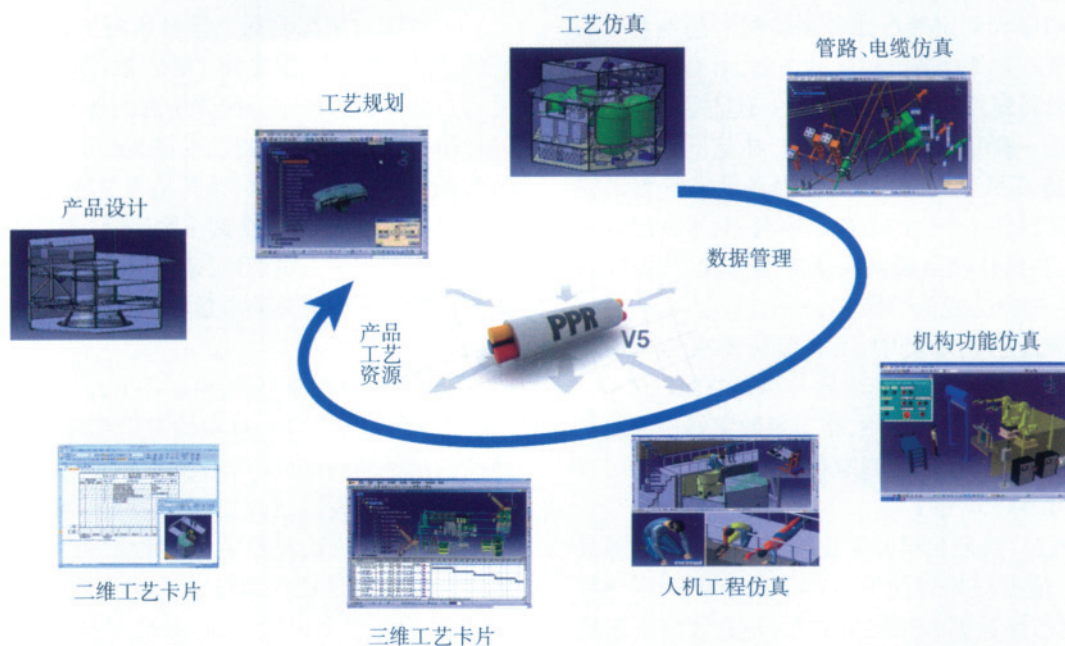


图2 虚拟装配软件DELMIA简介
Fig.2 Introduction of virtual assembly software DELMIA

为了能够真实地模拟装配环境，需将产品、资源等依次添加到装配环境中。

(2) 制定装配仿真方案。

装配工艺仿真方案的制定是整个装配过程的前提。利用 DELMIA 的 DPM 模块,工艺人员可以制定出各种装配仿真方案,而且,工艺人员可以将工装、工具等装配资源与每一个装配工步进行动态关联,使得仿真方案更加合理。

(3) 对装配过程仿真。

装配过程仿真主要包括装配顺序仿真和装配路径仿真。装配顺序仿真是按照制定好的工艺方案对产品装配顺序进行仿真,检验装配方案的装配顺序是否可行,进而评价整个装配方案的合理性;装配路径仿真是对装配中的路径进行仿真,检查在装配过程中是否有干涉的情况发生。

(4) 人机工程仿真。

为了更真实地模拟装配过程,添加人机工程仿真功能,它可以很形象、真实地模拟出装配过程中人的姿态、视线、舒适度等,从而进一步检验装配方案的可行性。

2 关键技术研究

(1) 装配工艺规划及资源设计(图 4)。

卫星中零部件数量大、种类多,而卫星结构又复杂,

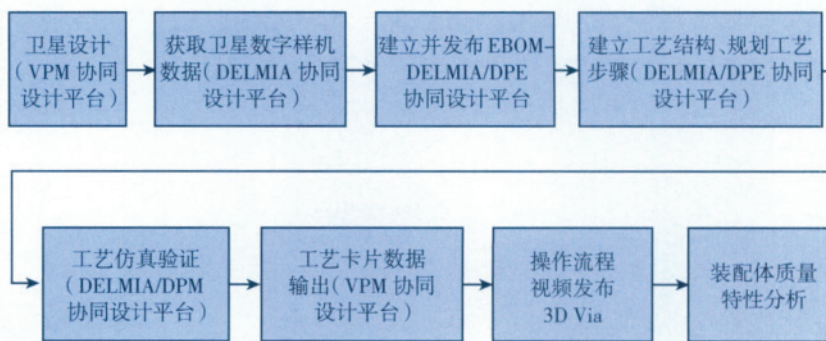


图3 虚拟装配流程
Fig.3 Virtual assembly process

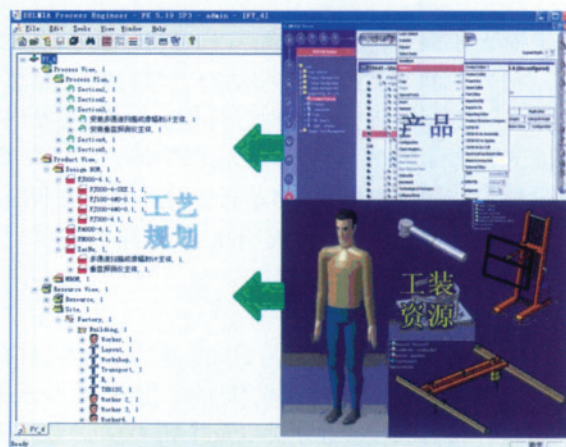


图4 装配工艺规划及资源设计
Fig.4 Assembly process planning and design resources

规划好装配顺序和确定装配路径是装配工艺规划中的一个关键环节。尤其是装配顺序的规划,对有些子装配体既要能实现装配,又要能实现拆卸。卫星零部件的装配顺序和路径一般可按拆分原则确定,在基于 DELMIA 的虚拟装配仿真平台中,也可以利用自动求解器来完成。采用求解器自动产生的装配顺序时,对于特定的装配或工具,工艺员往往需要做些适应性修改,从而规划出符合装配人员行为规范的操作。

在虚拟装配仿真环境中,工装资源要求与真实环境中的一致。针对不同卫星产品,工具的样式也不一样。将模型导入到仿真环境中,将卫星数字样机存放在 Enovia VPM 电子仓库中,通过软件接口,产品数据可被传送到 DPE 中。

待装配顺序、路径和相关工装资源都规划好并形成装配大纲后,依据规划好的卫星零部件装配顺序与路径,结合卫星产品数据和工装资源库,建立装配工艺规划的结构,定义好工艺节点,做好工艺路线和操作步骤的规划,保证在工艺过程节点下能找到相应装配大纲里的工序。

(2) 碰撞干涉检查(图 5)。

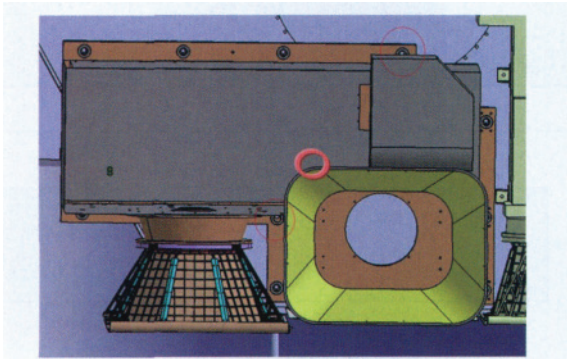


图5 碰撞干涉检查

Fig.5 Collision and interference checking

碰撞干涉检查是验证装配工艺可行性的一个关键手段。它分为静态干涉检查和动态干涉检查。静态干涉检查是对装配体所有零部件进行相交性检查,发现装配环境下零部件的干涉情况;动态干涉检查是在零部件装配过程中,系统实时对移动零部件与其他物体间的干涉情况进行检查,以检验装配顺序、装配路径的可行性和合理性。

(3) 人机工程仿真。

人机工程仿真是装配工艺验证的重点,主要包括装配工艺过程中人体舒适度评估值分析、抬升能力分析、推拉能力分析、搬运能力分析以及生物力学受力分析。在分析过程中人体生理数据库是被自动调用的,分析的结果会体现在人体的每个部位上,用不同的颜色表示。

人机工程仿真实际上是对装配工艺规划实际操作性的分析,它将人、卫星和工装资源等有效地结合起来,并通过装配操作指令分配到仿真的各个环节或活动中。经过仿真后,工艺员可提前发现装配工艺规划和卫星总体布局中不合理的地方,尤其是因卫星总体布局造成的装配操作难度大、现场协调多的问题。对于发现的问题,工艺员可与相关人员商讨,通过修改装配工艺方案或卫星总体布局来保证总装质量,避免设计问题直接流向总装现场。

(4) 装配体质量特性测试(图 6)。

在卫星设计阶段,真实的卫星部件尚未生产,装配体的质量特性测试可由数字样机代替,零部件的安装位置偏差可自行设定,它们的质量特性可由相关软件模块自动计算出来。而在卫星总装完成后,可根据实际情况将零部件的质量特性和安装位置手工输入到质量特性测试模块中。

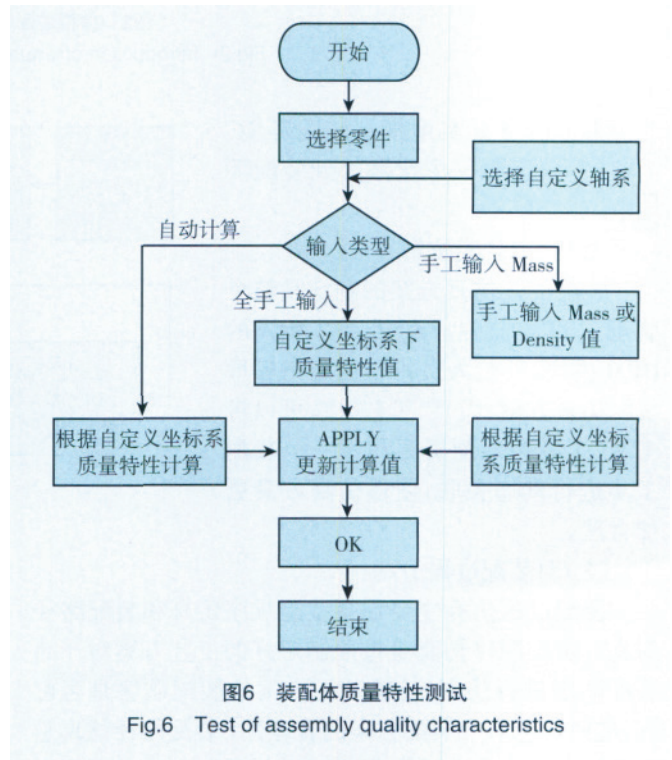


图6 装配体质量特性测试

Fig.6 Test of assembly quality characteristics

(5) 装配工艺卡片输出及发布(图 7)。

装配工艺仿真实验验证完成后,系统将产生的结果以文本和图形等方式输出给用户,从而形成规范的卫星装配规划文档。不同的 CAPP 需要的工艺卡片形式不一样,通过编写 VB 脚本可以对工艺卡片的形式进行定制。

虚拟装配仿真结果也可以动画的形式输出,人机工程仿真中将人体模型与装配工艺规划及设备有效地结合起来了,若将仿真的整个过程动态地显示出来,那么就有了卫星装配的具体操作流程动画。不论是第一

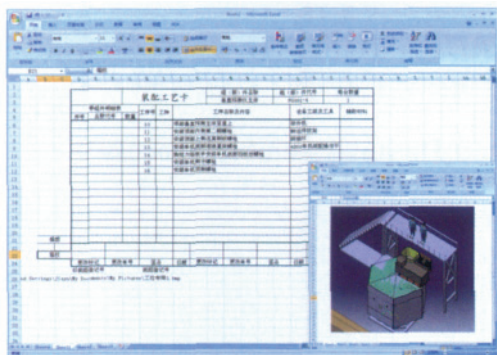


图7 装配工艺卡片输出及发布
Fig.7 Assembly process card output and release

次接触的操作者还是对该卫星结构不熟悉的人员,都能在短时间内对要装配卫星的结构和装配顺序有所了解,并能理解工艺设计人员的装配工艺设计。

3 某型号卫星应用

(1) 整星级装配顺序验证。

某型号卫星的装配顺序如图 8 所示。该卫星总装过程主要由结构壳体装配、单机装配、电缆装配等组成。针对该卫星的总装过程,采用虚拟装配软件对结构壳体装配、单机装配进行仿真,按照装配工艺方案的要求,仿真整个卫星的装配顺序和装配路径。在虚拟装配过程中,我们发现了装配不太合理的地方,于是针对存在的问题对装配顺序进行了优化,最终得出了最佳的装配工艺方案。

(2) 部件级装配干涉检查(图 9)。

装配干涉检查是虚拟装配软件的一项重要功能,用于对装配的零部件进行装配干涉检查。在安装扫描



图8 某型号卫星装配顺序
Fig.8 Assembly sequence of a model satellite

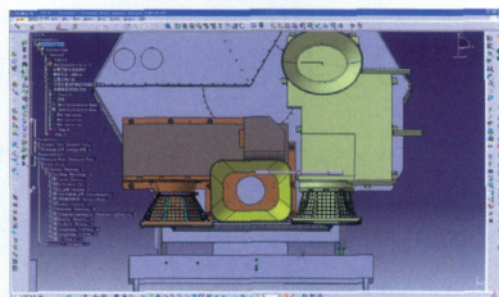
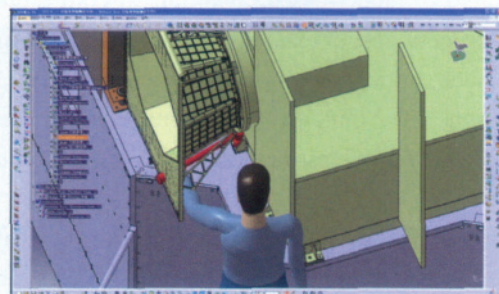


图9 部件级装配干涉检查
Fig.9 Component level assembly interference checking

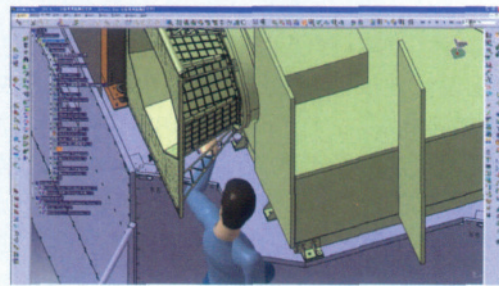
辐射计和垂直探测仪时,使用装配干涉检查功能,以检查 2 个有效载荷的安装方案是否存在干涉问题,减少不必要的装配时间,保证装配的可行性。

(3) 关键装配工序人机工程验证。

对有效载荷的安装过程添加人机工程,模拟其拧螺钉的过程。如图 10 所示,改进前的方案使用一个长力矩扳手来拧螺钉,添加人机后,可以看出长力矩扳手与有效载荷相互干涉,因此改用短力矩扳手来拧螺钉,从而进一步指导工人的总装操作。



(a) 改进前的方案



(b) 改进后的方案

图10 前后干涉方案对比
Fig.10 Comparison before and after program

4 结束语

卫星总装过程的数字化程度较低,缺乏三维可视化手段支持,对操作现场的指导性差。而虚拟装配技术可

(下转第 93 页)

进而降低接头的疲劳寿命。对复合材料与金属混合夹层的干涉连接的钉载分布进行测试,看干涉连接对复合材料与金属混合夹层有何影响。图8为测试钉载分布的试片,对试验件钉排旁路应变的测量,计算出各钉排钉载分配比例,从而对比研究复合材料与金属混合夹层干涉连接与间隙连接钉载分配的差异。

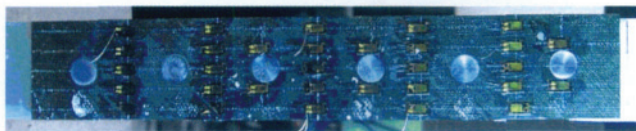


图8 试验件贴片情况
Fig.8 Paste foil gage condition of test pieces

试验在复合材料/铝混合夹层典型连接件中选取干涉与间隙配合试验件(E-10、F-10)进行应变测量。在疲劳加载过程中,对试验件E-10、F-10分别进行了6次和4次应变测量,以监测在疲劳载荷状态下的钉载分布。经过对应变数据的处理得到了不同疲劳循环载荷下的钉载比例。

研究表明,对于复合材料/铝合金混合夹层连接接头,不同的钉与孔配合方式对钉载分配有较大影响,见图9。

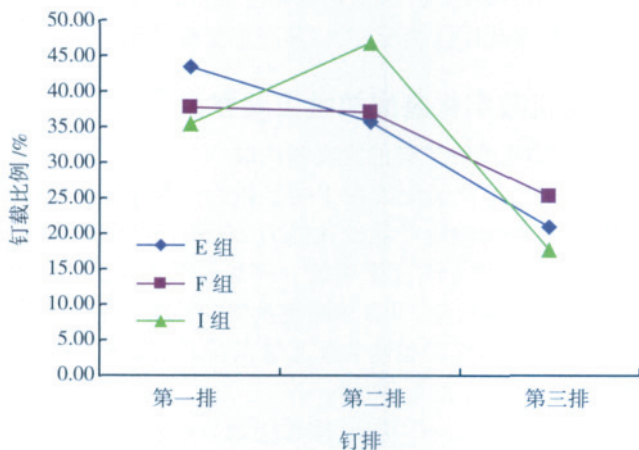


图9 复合材料/铝合金连接各组钉载比例 (平均值)
Fig.9 Each pin load ratio of composites and aluminum alloy test piece (average)

(1) 干涉 I 型配合情况下钉载分布最为均匀。

(2) 干涉 II 型配合加剧了钉载分布的不均匀性,使得最大钉载比例与最小钉载的差接近 29%,高于间隙连接钉载比例差。

(3) 随着钉与孔配合紧密程度的增加,首排钉载逐渐减小,第 2 排钉载逐渐增加,最大钉载由首排转移到第 2 排。

3 结论

综合上述试验数据分析,可得出下面结论:

(1) 干涉 I 型(0.5%~1.5% d)、干涉 II 型(1.5%~2.5% d) 连接均可以提高复合材料/金属混合夹层连接件的疲劳寿命,但 II 型干涉量加剧了试验件的钉载分布比例,而 I 型干涉量已经可以满足设计对连接疲劳寿命的要求,所以在实际应用中选择 I 型干涉量进行干涉安装,飞机结构件的综合效果最好。

(2) 从试验件的破坏形式进行分析可知,复合材料与金属混合夹层的干涉连接都是金属破坏,说明复合材料的抗疲劳性能高于金属,所以此种干涉连接主要是提高金属的疲劳寿命,同时保证复合材料不产生分层。

随着航空事业的不断发展,复合材料在飞机上的应用将不断增加,复合材料与金属混合夹层的干涉连接技术的研究对新一代战斗机、民用飞机的疲劳寿命及飞机设计都将产生积极的影响。

参考文献

- [1] 张国梁. 复合材料结构连接技术. 北京: 国防工业出版社, 1991.
- [2] 张全纯, 汪裕柄, 翟履和, 等. 先进飞机机械连接技术. 北京: 兵器工业出版社, 2000.
- [3] Cole R T, Batch E J, Potter J. Fasteners for Composite structures. Composites, 1982, 13(3): 233-240.
- [4] 刘萍, 张开达. 干涉对复合材料层板螺栓连接疲劳强度的影响. 航空学报, 1991, 12 (12):545-549.

(责编 夏宛)

(上接第 73 页)

以有效支持工艺方案的仿真验证和优化,是卫星研制的重要技术手段。它能够早在设计阶段就对卫星装配方案进行性能测试和评估,迅速分析出方案的可行性,尽早发现设计缺陷,从而有效指导工人的操作,保证装配的质量,提高工人的工作效率。

参考文献

- [1] 孙康. “TXZ” 微小卫星虚拟装配关键技术研究. 南京: 南京航空航天大学, 2007.
- [2] 刘子强. 虚拟装配的基础研究. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2004.
- [3] 唐晓东, 高红. 虚拟装配仿真技术在飞机研制阶段的应用. 航空制造技术, 2009 (24):69-71.
- [4] 盛选禹, 盛选军. DELMIA 人机工程模拟教程. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [5] 杨明. 基于 DELMIA 的虚拟装配中人机工程仿真与应用. 农业开发研究, 2009 (4):12-14.

(责编 夏宛)