

# DELMIA 系统在飞机装配模拟中的应用研究

Research on Application DELMIA System in Aircraft Assembly Simulation

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 李景新 郑国磊

**[摘要]** 结合某飞机垂直安定面的制造过程,探讨 DELMIA 系统在飞机部件装配模拟中的具体应用方法。在深入分析该部件装配工艺流程的基础上,模拟其装配过程,直观分析产品的可装配性,结合人机工效评估结果对其工艺方法、工装结构和生产线布局进行必要的调整、改进和综合优化,确保部件装配质量和效率。

**关键词:** 飞机装配 计算机模拟 装配过程

**[ABSTRACT]** Application procedure of DELMIA system is presented according to the manufacturing process of an aircraft vertical stabilizer. And on the basis of assembly process of the aircraft component, simulation of its assembly process is completed, and assembly feasibility is visually analyzed. By using the results of the simulation, analysis and evaluation of human-machine factors, the adjustment, improvement and optimization are implemented for assembly methodology, fixture and process layout, and so that manufacture quality and productivity are improved.

**Keywords:** Aircraft assembly Computer simulation Assembly process

飞机产品结构复杂,装配精度要求高,但其装配工艺设计仍以手工方式为主,工艺质量很大程度上取决于设计员本身的工作经验和知识积累。因此,在飞机装配制造中存在诸多难以避免的工艺问题,包括工艺通路不畅、作业空间受限、工艺环境布局不合理和工人作业强度大等,使装配工作变得异常繁杂,严重影响装配进程。预先发现并解决这些问题最有效的方法之一是应用数字化技术和系统开展飞机装配过程的模拟。在数字化平台上,根据产品的装配工艺,首先构建虚拟制造环境,包括建立预备产品零部件的 CAD 模型以及工艺装备、装配工具、工作台和各种辅助设备几何模型,然后在此环境中尽可能真实地模拟飞机的装配过程。在过程模拟中,能够及时发现工艺中存在的各种结构性和空间性等问题,并根据模拟、分析和装配工效评估的结果对工艺方法、工装结

构和生产线布局等进行修改和优化。DELMIA 系统为开展飞机制造过程模拟提供了强有力的工具,其 3D 数字化制造解决方案确保了产品工艺设计和工艺资源配备的合理性。本课题拟结合某飞机垂直安定面的装配,探讨该系统在飞机部件装配模拟中的应用方法,并总结开展飞机装配模拟所取得的优势以及后续需要进一步研究的问题。

## 1 DELMIA 系统简介

DELMIA (Digital Enterprise Lean Manufacturing Interaction Application) 是法国达索公司出品的具有较强模拟仿真功能的三维设计软件,其应用涵盖了航空、航天、汽车和船舶等几乎所有机械产品的数字化制造。该系统以“数字化制造技术”为核心,重点解决制造过程的仿真问题,并为此提供了定义和模拟数字化制造流程的各项功能,其中产品、工艺流程和资源模型中枢(PPR HUB)是提供“数字工程”解决方案以及支持工艺设计与验证的关键技术。系统有上百个子模块,按功能划分为数字工艺(Digital Process Engineer, DPE)、数字制造(Digital Process Manufacture, DPM)和资源建模与仿真(Resource Modeling & Simulation)三大类。

产品虚拟装配所涉及的主要模块如图 1 所示,其中首先应用“产品定义”功能,建立产品的定义和表示模型,然后利用“工艺/资源规划”设计和改进产品的装配工艺,这是开展数字化制造的基础。“工厂布局”模块主要用来设置和构建虚拟制造环境,将待装配的



图 1 DELMIA 主要模块结构

Fig.1 Structure of main DELMIA modules

产品和制造环境资源并入“数字工艺(DPE)”和“数字制造(DPM)”中,形成完整的“数字工厂”,并应用“工厂物流仿真”、“工厂布局仿真”、“人机工程”和“装配工艺仿真”等专业仿真功能,开展产品制造过程的模拟和分析,利用“产品管理”功能对模拟过程中的产品、资源和工艺过程以及分析结果进行有序组织管理,最后以报表等形式输出。

## 2 飞机装配模拟

### 2.1 实施方案

根据飞机装配工艺设计及装配制造过程,应用 DELMIA 系统模拟飞机装配的实施流程如图 2 所示。

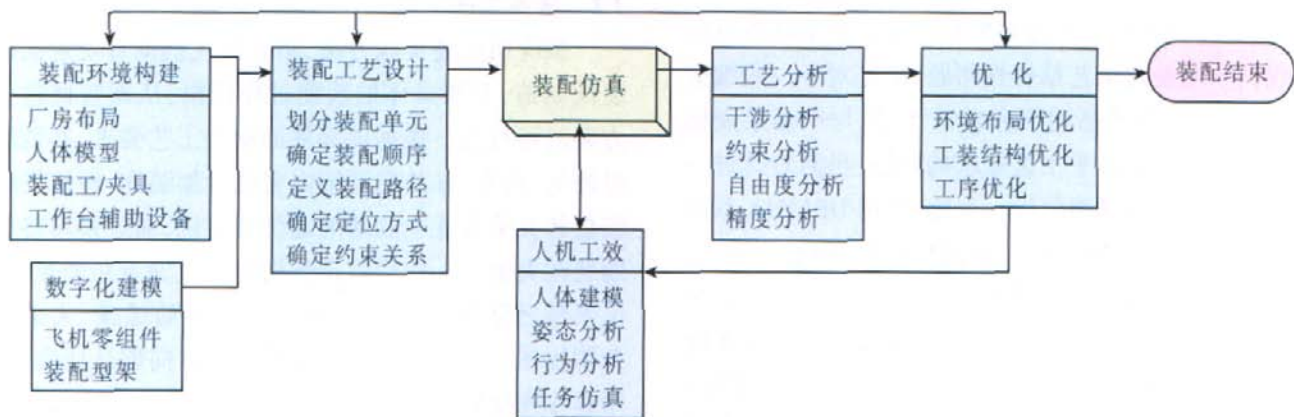


图 2 飞机装配过程仿真流程

Fig.2 Procedure of aircraft assembly process simulation

(2) 装配环境构建。利用上述所建立的数字化模型(产品模型除外),根据飞机装配工艺执行的需要,构建数字化装配生产线,对装配型架、工作台、工具库和工人等进行合理布局。为此,首先应用“工厂布局”模块建立数字车间中的基本设施,然后按照工厂实际布局状况,对装配工件、环境资源及人员活动空间等进行有序布置,确定装配所需的环境元素之间的相对空间关系,以保证合理的生产工艺流程及装配工作的顺利进行。同时,对所需的各种装配资源信息及相关工艺知识建立相应的管理文件,以便后期的修改操作及重复使用。

(3) 装配工艺设计。飞机装配工艺是开展装配模拟所需的最重要的工艺文件,其主要任务是采用合理的工艺方法和工艺装备来确定飞机装配流程。因此,飞机装配工艺设计是飞机制造的基础工作之一,是整个制造流程中的重要环节。目前,飞机装配过程中仍需要大量的专用工装,且以手工装配方式为主,在工

以数字化模型代替实体在计算机虚拟现实环境下进行装配过程的模拟及工艺流程分析,确保产品的可装配性,并合理规划及布置装配资源。其中包括:

(1) 数字化建模。在进行产品装配之前,首先需要对飞机的零组件及其装配型架等进行 CAD 建模。建模步骤为:一是分析和提取各零件的形状特征和组件的装配关系;二是应用 CATIA V5 系统中的“机械设计”子系统,进行零件的特征造型和组件的装配约束定义,这些零组件模型将作为装配模拟中的“工件”。对于构成装配环境的其他各种辅助设备和制造工具,也要参照上述方法进行数字化建模,以便在构建虚拟制造环境时直接调用。

艺设计中需要考虑装配的互换协调性、空间开敞性和工具可达性等对劳动生产率和人机工效具有重要影响的各种工艺因素。为此,要求在详细了解飞机结构及其制造要求的基础上,依次完成如下各项工艺设计工作:合理划分工艺分离面和装配单元;选定必需的通用制造设备和专用工艺装备;对工作场地进行合理的工艺布置;确定装配基准、定位方法及装配顺序等;最后,编写完整的装配工艺规程,形成指令性的产品装配制造大纲。

(4) 装配过程模拟。在数字平台上,依据装配工艺大纲模拟各工件的装配过程,即在虚拟装配环境中动态直观地显示其装配序列、路径和方法等。通过视觉观察,可实时发现装配过程中各种明显的工人、工具、工件、产品、工装和其他环境元素间的空间干涉和碰撞情况,以便及时调整,得到较为合理的装配顺序和最佳装配路径。应用 DELMIA 系统进行产品装配模拟的主要步骤为:

- 初始化装配仿真环境;
- 建立装配模拟行为, 设置装配工序及路径;
- 执行模拟过程, 并同步实施干涉检查。

在装配模拟过程中, DELMIA 系统可自动生成装配路径, 但是由于路径搜索计算量大、时间长, 未能达到快速准确的要求, 故目前仍采用人工交互指定和系统自动生成相结合的方式来确定无干涉且相对合理的装配路径。装配过程中若发生干涉, 可对仿真行为和装配路径进行修改, 最后形成仿真结果报告。

(5) 模拟分析。通过对模拟过程的视觉观察可以发现其中明显的工艺结构性问题, 但是对于一些细节问题, 如工件与产品间不存在干涉, 但与产品某表面已接触或间隙不合乎工艺要求的问题, 仍需对其进一步量化计算和详细分析。为此, 利用 DELMIA 系统所提供的整体干涉检查、可拆卸性检查、约束分析、自由度分析和精度分析等各种分析工具, 直观或量化地考察工件装配的约束状态、细节定义以及空间准确度等问题。其中, 干涉检测分为静态、动态和运动等 3 类方式, 利用这些方式对装配路径上的障碍实施自动鉴别, 如通过计算工件的运动包络体并判断该包络体与环境元素间是否相交来确定工件在装卸中是否有干涉问题等。若发现动态干涉现象, 系统采用线框提示或自动停止模拟过程。

(6) 人机工效。由于飞机装配仍以手工操作为主, 因此考察工艺中影响工人作业的空间开敞性、姿态舒适性和劳动强度等诸多因素在现在和未来工艺评估和优化中越发需要得到人们的重视。DELMIA 系统中的“人机工程”子系统即是用来完成此项工作的, 实现过程如图 3 所示。其中, 利用数字化环境中的任务仿真及分析工具, 指定工人在完成某个装配操作过程中的作业行为、行走路线和工作负荷, 对各种典型作业姿态和装配行为进行模拟及定性定量分析, 并在此基础上准确地评估工艺和工装的人机性能及工人的劳动生产率。

最后, 根据上述仿真和分析结果, 以及不同装配方案的比较, 对产品的工艺方法、工装结构和生产线布局进行综合调整、修改和优化, 保证在产品的物理制造中达到工艺方法最优、工艺通路通畅、人机环境良好、劳动强度合理和制造效率较高等多个目标。

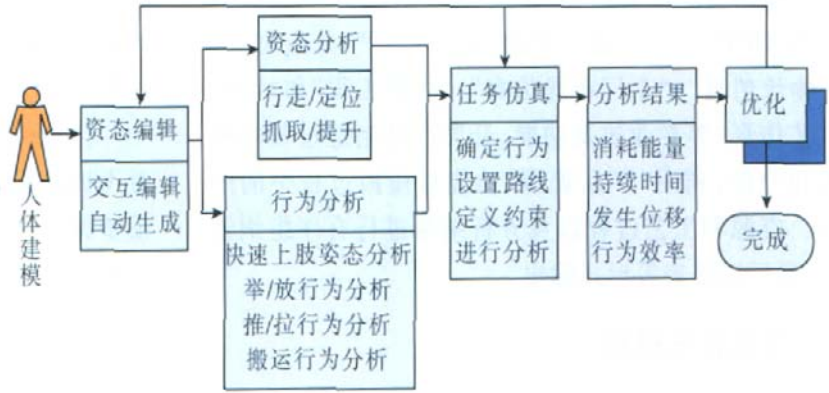


图 3 人体行为仿真流程

Fig.3 Procedure of human behavior simulation

## 2.2 垂尾装配仿真

拟应用上述实施方案, 结合某飞机垂直安定面的装配制造, 开展具体的装配过程模拟, 从而验证这一方案的可行性。根据该部件的制造工艺要求, 其装配过程为: 首先, 在装配型架内完成骨架装配, 即按翼肋腹板和大梁支柱上的基准定位孔定位, 通过铆接将翼肋装在大梁上。然后将带长桁的壁板安装在型架内, 压紧使之贴靠在骨架上, 将壁板与翼肋缘条、大梁缘条铆接在一起; 沿型架定位器安装方向舵悬挂接头, 用螺栓连接悬挂接头与大梁。按图纸安装并定位其他零件, 检验垂直安定面外形、对接组件位置是否正确。最后, 打开型架上的各个卡板和接头定位器, 从型架上吊装出成品件, 完成该部件的装配制造。

按照图 2 所示的步骤, 首先应用 CATIA V5 系统, 建立该部件的零组件及其装配型架的 CAD 模型, 如图 4 所示为垂直安定面总装型架模型。按工厂现有装配条件和工段工作安排, 应用 DELMIA 系统中“工厂布局”模块建立虚拟装配环境, 对环境资源和产品模型进行合理安置。进入“装配工艺仿真”模块, 参照上述装配过程, 确定各零组件的装配顺序, 设置装配

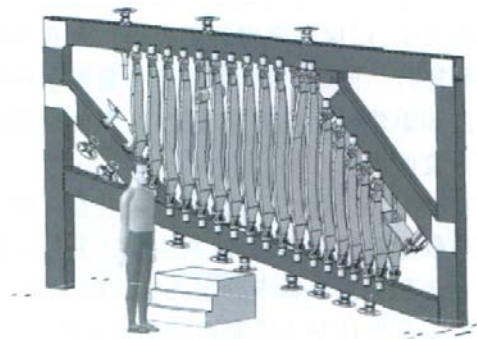


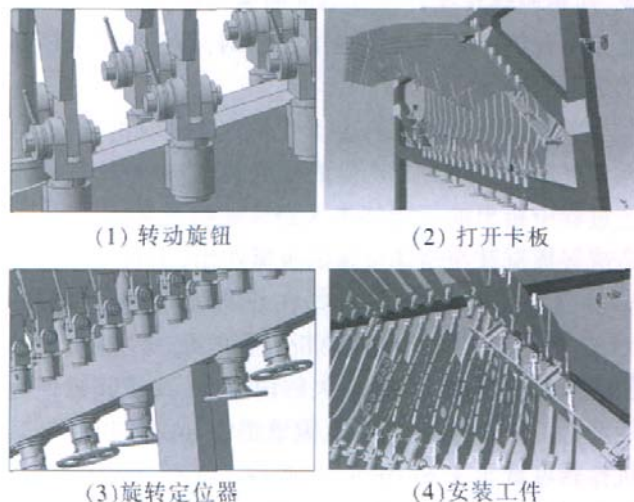
图 4 数字化建模

Fig.4 Digital modeling

路线,建立零件移动行为,录制整个装配操作过程。当完成所有行为设置之后,可采用交互编辑仿真定义,并利用播放功能动态演示整个装配过程,实施同步干涉检查等工序,具体模拟过程如下:

(1)对于所有卡板组件,依次将各卡板下端头上的旋钮顺时针转动90°,使各活动卡板绕各自的上端转轴打开。旋转打开各接头定位器,将大梁、翼肋等工件按照各自的工艺通路准确定位在型架上,并用夹紧器将其固定,如图5所示。

(2)根据产品零组件间的装配关系,定义彼此间的约束类型和约束关系,以确保装配工件之间准确的相对位置关系,模拟这些工件在型架内的装配连接,分析和检查其装配的正确性,如图6所示。设置不同的装配序列和装配路径,调整环境布局和型架结构,重新模拟,观察比较其装配效果。



(1) 转动旋钮

(2) 打开卡板

(3) 旋转定位器

(4) 安装工件

图5 上架安装

Fig.5 Put on fixture and install

(3)应用人机工程,定性和定量地分析装配过程中工人的作业姿态行为,评估劳动生产率等。最后,生成和编制完整的模拟和分析结果报告,以图表形式输出。工艺图表提供了清晰的装配序列关系以及工艺和产品、工艺和资源之间的关联,还包括操作工艺描述及执行时间、空间需求等内容,可在图表中对装配顺序和过程等进行编辑和检查。

通过对飞机部件装配过程的模拟,能够有效地检验装配过程的可操作性和合理性,解决数字化产品模型装配过程中所遇到的问题。根据仿真分析结果改进工艺,调整工装结构,完善工厂布局,协调各项装配工作使装配环境和工艺等方面达到最优组合。

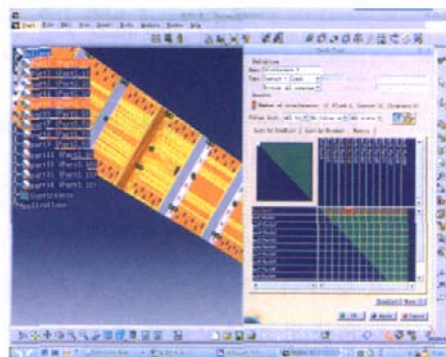


图6 装配分析

Fig.6 Analysis of assembly

### 3 结束语

本课题提出了应用 DELMIA 系统模拟飞机装配过程的方法,并结合某飞机垂直安定面的制造,详细说明了该方法的应用。通过对装配过程的模拟和分析,基本上可以预先发现工艺方法、工装结构和制造环境中利用传统方法难以应对的问题,也可对不同装配方案进行模拟和分析,修改和优化制造工序和工装结构等,改善工艺质量和制造效率。DELMIA 系统功能强大,但因学习和研究时间所限,对其中的许多功能,尤其是一些量化计算和自动化生成功能尚未得到深入的应用和研究,而这些功能对提高 DELMIA 系统的应用水平和效益起着重要的作用,因此有必要将其作为下一步的工作重点,充分挖掘其功用。

#### 参考文献

- [1] 王云渤. 飞机装配工艺学. 北京: 国防工业出版社, 1990.
- [2] 李薇. 数字化技术在飞机装配中的应用研究. 航空制造技术, 2004 (8): 24-29.
- [3] 肖田元. 虚拟制造. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [4] Roland Steffan, Ulrich Schull, Torsten Kühlen. Integration of virtual reality based assembly simulation into CAD/CAM environments. Industrial Electronics Society. Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE, 1998.
- [5] 孙中雷, 陶华. 飞机装配工艺仿真与可视化技术研究. 现代制造工程. 2006 (2): 55-58.
- [6] DASSAULT SYSTEMS. DELMIA Documentation Version 5 Release 14, 2005.
- [7] 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.
- [8] 王飞, 杨湘龙, 冯允成. 虚拟现实仿真技术及在飞机装配中的应用. 北京航空航天大学学报, 2001, 27 (2): 213-216.

(责编 金卯)