

# 装配仿真技术在飞机研制阶段的应用

## Application of Assembly Simulation Technology in Aircraft Development Stage

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 郭佳 郑伟



郭佳

工程师,主要从事飞行器数字化制造技术、虚拟现实与计算机仿真等方面的研究与应用。

近年来,随着国内航空制造企业在研型号不断增多,研制任务越来越繁重,并且客户对产品质量和研制周期的要求也越来越高。因此,迫切需要企业不断加强对数字化技术的研究,以满足上述需求。数字化技术的应用借助于计算机技术的飞速发展,由此也带来飞机研制模式的巨大变革。据世界权威调查机构 CIMdata 统计,数字化技术可节省工装设计

装配仿真技术是用户以交互方式操作产品三维数模,利用产品、资源的形状特性在系统仿真环境中真实地模拟产品的装配过程。可在进行实物装配前分析产品的装配特性,验证工艺设计的合理性,通过发现隐患不断地优化工艺方案。

时间 30%, 缩短制造工艺规划周期 40%, 加速产品上市时间 30%。美国波音公司在研制波音 777 飞机的过程中,全面采用数字化技术,实现了产品三维数字化定义、产品装配过程仿真及并行工程的实施,使工程设计和飞机研制效率得到很大的提高,产品开发周期缩短 40%~60%,制造成本降低 30%~40%,同时保证了飞机设计、制造、试飞一次成功<sup>[1]</sup>。

由于传统飞机结构复杂,零件众多,飞机装配阶段工作量约占全机工作量的 45%~60%,装配周期约占全机生产周期的 50%~75%<sup>[2]</sup>。因此,以装配仿真技术等为代表的数字化技术的应用,无疑为企业解决上述问题提供了有效的方案。

### 装配仿真技术

装配仿真技术是用户以交互方

式操作产品三维数模,利用产品、资源的形状特性在系统仿真环境中真实地模拟产品的装配过程。可在进行实物装配前分析产品的装配特性,验证工艺设计的合理性,通过发现隐患不断地优化工艺方案。

装配仿真的过程是按照装配大纲的工艺流程,在计算机上模拟真实的装配过程。其原理基于“可拆即可装”,将虚拟环境中的模型从正确的空间位置进行交互拆除,得到各零、组件的拆卸顺序并保存此时的空间位置为初始位置,再将整个拆卸流程“反转倒置”,“拆”的过程就转换为“装”的过程<sup>[3]</sup>。需要注意的是,此过程与正常思维习惯相反,因此在逻辑上需要有清晰的思路。装配仿真技术的应用,有效地避免了“产品设计-产品制造-实物评价”这一传统模式,为产品、工艺和工装设计

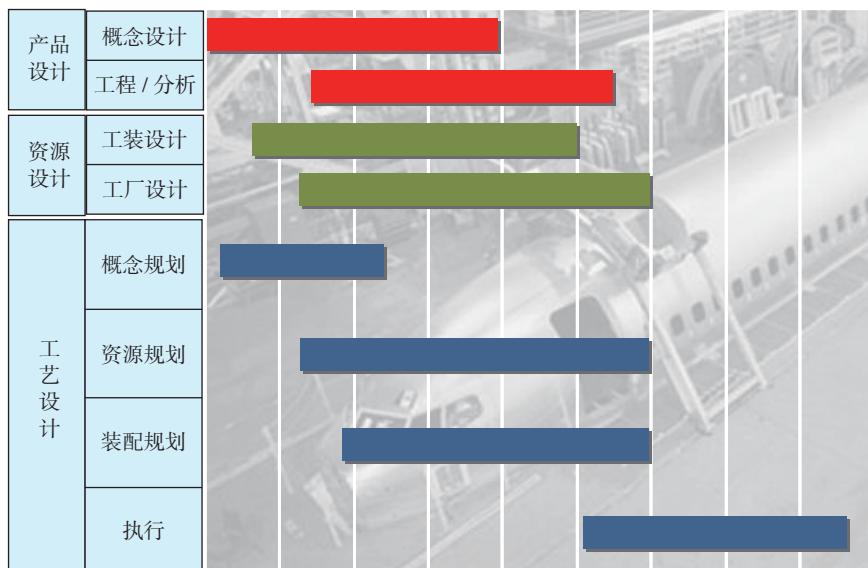


图1 产品设计、资源设计与工艺设计并行开展

提供了可视化手段和验证环境,并且有利于并行工程的开展,如图1所示。

利用装配仿真技术可以在定义好每个零、组件装配路径的基础上,结合三维工厂设计、人机工程、三维设备/工装/夹具等形成三维虚拟装配环境,实现产品装配过程和拆卸过程的三维动态仿真,以验证工艺设计过程中装配流程设计是否合理、正确以及对每个零件、组件、工装等进行装配干涉检查,验证产品的可装配性;分析操作人员的可视性和工具的可达性;验证装配工装的操作便利性和正确性,如图2所示。其中,以 DASSAULT SYSTEM 公司提供的 DELMIA 系统为代表的数字化制造解决方案,可以实现上述功能。

### 装配仿真流程及典型问题

通过应用 DELMIA 进行三维仿真和验证,工艺设计人员能够及早地将产品和工装的设计问题反映给设计人员进行修改,尽可能在设计阶段消除产品设计与工艺、工装的各种潜在问题,从而减少后期制造阶段的更改与返工,提高首件的成功率。以 DELMIA 为例,其装配仿真流程如下:

(1) 首先,要对产品数模、工装

数模及装配流程非常了解,只有在此基础上才能开展下一步工作;

(2) 将产品数模和工装数模导入到 PPR 结构树中;

(3) 进行静态干涉检测,查看产品与工装是否有干涉,判断其是否影响装配;

(4) 创建 ProcessLibrary 文件,将装配流程信息保存到该文件中;

(5) 将 ProcessLibrary 文件加载到 PPR 结构树上;

(6) 使用 PERT 图调整 Activity 的顺序;

(7) 将产品和资源数据链接到 Activity 上;

(8) 利用 Simulation Activity Creation 工具栏生成仿真过程,并查看是否有动态干涉,判断其是否影响装配,动态干涉见图3;

(9) 检查仿真流程是否有误,并进行更改;

(10) 最后,对仿真过程进行录像,记录干涉问题。

通过应用 DELMIA 系统对某轻型飞机全部装配工装进行了仿真验证,结果发现 40% 左右的装配工装存在由于工艺和工装原因而引起的干涉问题并得到及时解决;同时,也发现部分产品的设计问题,如:

飞机结构部分设计完成后,在 CATIA 系统中需将零件装配成组件,乃至装配成整架飞机,在这个过程中,存在依据个人经验判断零、组件间是否存在干涉的问题。如果设计

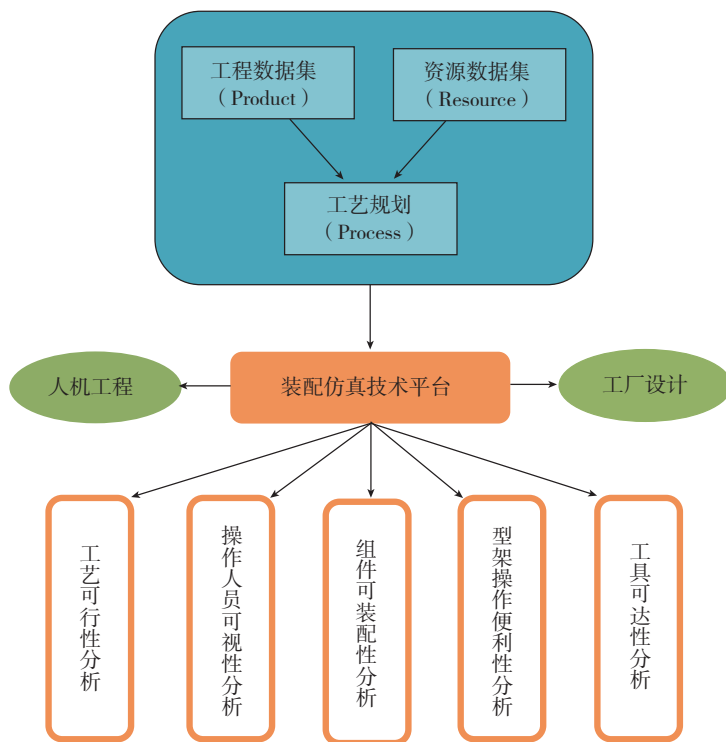


图2 装配仿真技术平台

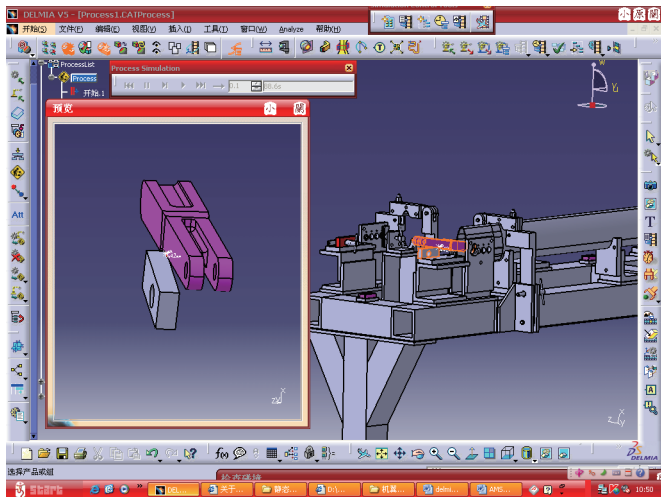


图3 机翼支撑杆组件动态干涉

人员经验不足,将无法发现一些潜在的隐患问题,如图4所示。应用装配仿真技术发现继电器板与继电器罩干涉,设计的不合理将导致无法安装。最终,在生产之前对设计进行了工程更改,避免了此问题的发生。

另外,由于飞机中铆钉、抽钉等标准件数量众多,如果全部由三维实体模型表示将产生巨大的数据量,所以在飞机数模中只是用点来代替它们的空间位置,这将对装配仿真的准确性造成一定影响。在图5中,机翼前缘肋图纸规定采用凸头铆钉,仿真过程中发现装配翼尖复材罩时将导致与机翼前缘肋之间有较大间隙并超差。对于此类问题的解决,首先应建立标准件模型库,在仿真过程中标准件由实体模型暂时替代,可发现存

在的问题,在生产之前进行工程更改,采用双层压窝、埋头铆钉的方式实现连接。

虽然装配仿真技术为产品、工艺和工装设计提供了可视化手段和验证环境,但仍需注意的是该技术本身还有一定的局限性与不足。例如,系统中将蒙皮等具有一定柔性的物体默认为是“刚性”的,与实际装配情况存在偏差,需要工艺人员的主观经验判断是否合理;装配仿真所使用的产品和工装数模全部是理想状态,实际生产不需要达到这种“精度”,装配仿真的结果只具有极其重要的参考价值;另外,如果在仿真过程中发现存在问题则该问题一定存在,如果在仿真过程中没有发现问题则在实际生产过程中也可能存在问题。

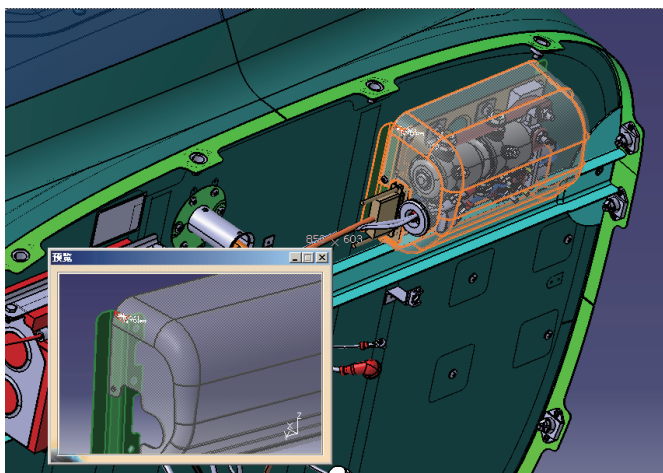


图4 继电器罩装配仿真

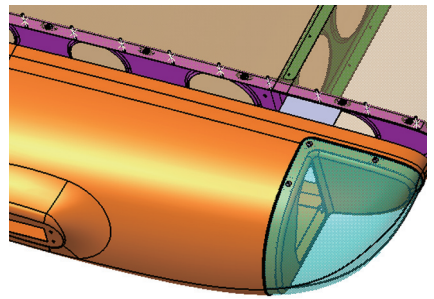


图5 机翼翼尖罩装配仿真

## 人机工程仿真

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。通过引入三维人体模型进行人体操作的动态仿真,可以分析操作人员在该环境中的姿态、舒适度等,验证人体操作的可达性,从而进一步优化工艺流程,改进工装设计。

DELMIA 人机工程仿真是在装配仿真的基础上,通过添加人体模型并使其运动实现的。由于装配仿真流程在前文中已经叙述,在此不再重复,以下简要介绍人机仿真流程:

- (1) 创建三维人体模型;
- (2) 将人体模型添加到 PPR 结构树中;
- (3) 创建 Human Task;
- (4) 利用 Manikin Posture 工具栏调整人体模型姿态,并记录需要的姿态;
- (5) 通过 Work Activities 工具栏可以创建移动、拾取/放下、跟随、上楼梯/下楼梯等动作;
- (6) 将创建好的 Human Task 绑定到相应的 Activity 上;
- (7) 通过分析工具对人体行为进行分析。

人机工程仿真主要针对开敞性不好的个别组件装配过程进行了仿真验证,查看其是否具有较好的可视性、可达性与可操作性,如图6所示。

## 工具仿真

在装配仿真验证过程中对于某些开敞性不好的操作,在仿真时应配

合工具数模进行验证。应用工具进行装配仿真验证,应首先建立相关工具的三维模型库,该库的建立也有助于工艺规划。如图7所示高锁螺栓的安装,在安装外侧高锁螺栓时发现工具将与内侧高锁螺母干涉,导致无法安装,从而提前将此问题反馈给设计部门,设计部门的解决方法是将高锁反装,并更改工程图纸,避免了实

际生产时才将此问题暴露出来。

### 三维工厂布局

在数字化环境下,将已经建立的装配工艺模型和工装、工作台、器具等三维资源模型导入到三维工厂模型中,按照确定的装配流程可以进行全面的布局设计。三维布局比传统的二维布局更直观,可充分体现三维

空间的情况,并且在数字环境下可以仿真验证生产流程。

在 DELMIA 系统中,首先需根据工厂实际面积和生产所需占用面积,创建区域。其次,在新创建的区域中创建通道、围墙等对厂房进行区域划分。再次,根据工装的外形尺寸信息创建预留空间,此时的预留空间代表相应的工装、工作台、器具等,可以对预留空间的位置进行调整以达到满意的布局效果。最终,把相应的工装、器具等数模添加到预留空间中就形成了三维的工厂布局。

通过工厂布局能更直观地查看布局设计,并可对其进行优化,最终使布局方案更具合理性和可行性,如图8所示。

### 结束语

通过对装配仿真技术的研究应用,完善了企业的数字化制造体系,使企业在技术和经济方面都取得了巨大的效益。装配仿真技术可在进行实物装配之前,尽早发现产品、工艺、工装等设计存在的问题,并有利于并行工程的开展。另外,企业的设计人员、工艺人员应能熟练运用该技术,而不仅是由数字化专业人员掌握,并在产品全生命周期内充分应用此技术,将隐患问题暴露在实际生产之前,达到首次装配即成功,从而缩短产品上市时间,节省大量资金。同时,还应加强对装配仿真技术标准、规范等的研究与建立,以增强企业的核心竞争力。

### 参考文献

- [1] 郭洪杰. 装配仿真技术在飞机并行设计阶段的应用. 航空制造技术, 2009(24):65-68.
- [2] 姚任远, 蔡青. 飞机装配技术. 北京: 国防工业出版社, 1993.
- [3] 贾朝定. 基于 DELMIA 的虚拟装配技术 // 2007 国防科技工业虚拟制造技术高层论坛论文集. 北京: 中国航空学会, 2007: 97-101.

(责编 谷雨)

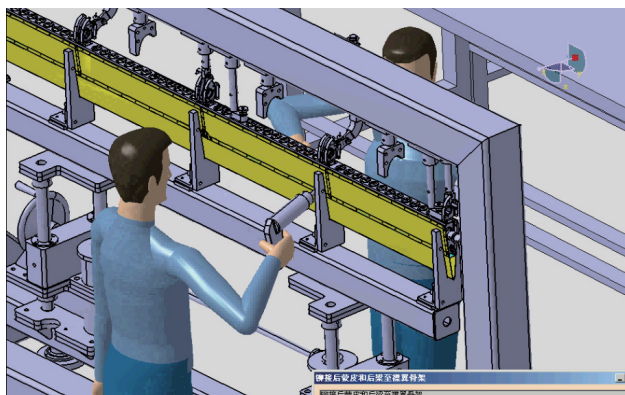


图6 襟翼人机工程仿真

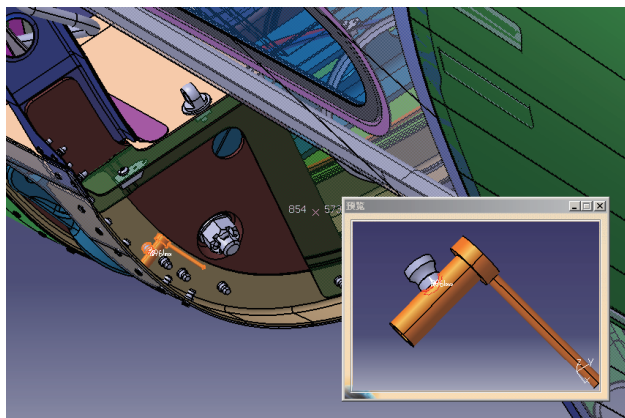


图7 工具安装高锁装配过程仿真

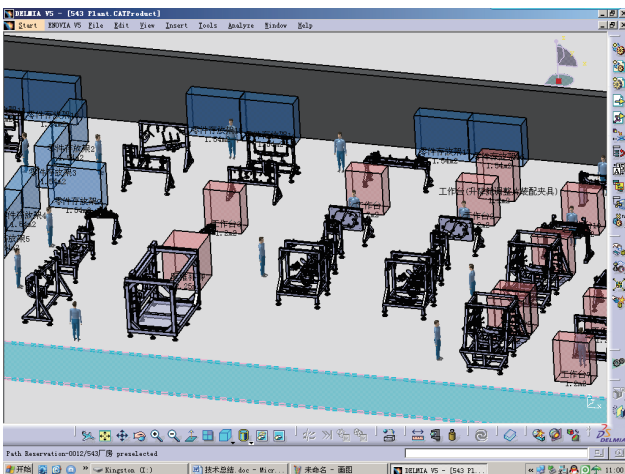


图8 三维工厂布局