

# 基于轻量化模型的飞机装配过程虚拟仿真方法

## Virtual Simulation Method of Aircraft Assembly Procedure Based on Lightweight Model Technology

南京航空航天大学机电学院 姜丽萍 陈文亮 黄大兴



姜丽萍

研究员级高级工程师。现任上海飞机制造有限公司总工程师、科技委主任、国家商用飞机制造工程研究技术中心主任,负责 ARJ21 新支线飞机项目和 C919 大型客机项目零部件制造、部件装配、总装集成和相关的制造技术工作。

飞机结构零件数量巨大,结构复杂、协调部位多,飞机装配在飞机制造过程中不仅劳动量大,而且质量要求高、技术难度大。因此,飞机装配在飞机制造中占有十分重要的地位,飞机装配工作量约占整个飞机制造总工作量的 50%~60%<sup>[1]</sup>,因此如

轻量化技术是提高飞机虚拟装配仿真效率的有效手段,本文结合飞机虚拟装配应用实践,从分层级装配场景、多量级轻量化模型和变分辨率装配仿真 3 方面对飞机虚拟装配过程进行处理,提出了基于轻量化模型的虚拟装配技术,降低了飞机虚拟装配仿真对计算机硬件的性能要求,提高了虚拟装配仿真的效率。

何提高装配效率、降低装配劳动成本,是缩短整个飞机研制周期的关键<sup>[2-3]</sup>。随着飞机数字化设计制造技术的快速发展,虚拟装配仿真技术已广泛应用于航空制造业,该技术的应用明显加快了装配工艺方案制定和实施的的速度,有利于优化装配工艺方案,从而有效保证飞机的装配质量。在并行工程中,虚拟装配仿真技术的应用,能在设计阶段发现问题,有效地减少设计错误、缩短研制周期、降低风险、节约成本。飞机装配过程的虚拟仿真,涉及到大量的飞机零部件模型、装配型架(夹具)模型、工具模型和人机工程中的人体模型等,故装配仿真场景包含的三维数模较多,且参与构建装配场景的原始模型通常存在大量的冗余数据,导致参与飞

机装配过程虚拟仿真的三维模型数据过大,对于于装配仿真的计算机硬件设备提出了极高的要求。

三维模型的轻量化技术得到了国内外很多专家学者及相关软件供应商的重视并进行了研究。刘云华等<sup>[4]</sup>提出了一种能够快速浏览的产品三维模型轻量化文件格式,以便于网上发布,并以此为基础开发了三维产品浏览系统和用于生成轻量化文件的接口程序。华中科技大学国家 CAD 支撑软件工程技术研究中心的王启福等<sup>[5]</sup>针对网络环境下协同产品开发中复杂产品模型数据交换、远程传输困难等瓶颈问题,提出了一种复杂产品模型数据轻量化算法。高峻峰等<sup>[6]</sup>提出了一种多量级协同方法,显著提高了基于三维模型的协同

产品开发效率。软件供应商也推出了如包含模型设计有关的显示数据的 JT 格式,只包含模型实体信息并保留装配信息的 3DXML 格式等轻量化格式<sup>[1]</sup>。

上述方法都需要将产品三维模型定义为特定的三维模型轻量化格式,难以在飞机装配过程虚拟仿真软件 Delmia 中实际应用。为此,本文结合飞机装配过程虚拟仿真的特点,提出了一种基于轻量化模型的装配过程虚拟仿真方法,大大降低了飞机装配过程虚拟仿真对计算机硬件的性能要求。

## 飞机装配过程的虚拟仿真内容

飞机结构复杂、装配层次较多、装配流程较长,装配过程中涉及大量的型架、工具等。

由于飞机装配固有的复杂性,依靠传统的计算机手段很难在设计的前期阶段就对装配和维护有关的问题做出准确分析,这些问题往往只会在产品开发的后期或最终产品试制过程中,甚至在投入使用一段时间后才能暴露出来。虚拟装配技术正是虚拟现实技术在产品设计中的应用,其目的不仅是为了在产品发现阶段发现产品装配过程存在的问题,而且虚拟装配技术允许装配工程师在虚拟环境下生成产品的装配工艺计划,并且对产品可装配性进行验证。

利用虚拟装配,可以验证装配设计和操作的正确与否,以便及早地发现装配中的问题,对模型进行修改,并通过可视化显示装配过程,进行装配工艺规划、现场布局、装配操作模拟等。飞机装配过程虚拟仿真的主要内容包括:

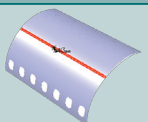


(1)预装配分析。预装配分析是产品装配完成后,检查产品各零部件间有无干涉现象存在及产品样机功能是否符合设计要求,及时发现零部件间的干涉问题及运动机构设计不

合理之处,以更改产品设计。某型飞机中机身预装配仿真结果,如图 1 所示。

(2)装配序列及装配路径规划。在虚拟装配仿真环境中可以动态直观地显示其装配序列和装配路径等。通过初步的观察,可实时发现装配过程中各种明显的工件、工装和工具等环境元素间的空间干涉和碰撞情况,以便及时进行调整,得到较为合理的装配序列和装配路径。图 2 为某型飞机平尾装配序列及装配路径仿真结果。

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,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。图 3 为某型飞机导管装配干涉检查仿真结果。

(4)人机工程仿真。对装配过程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进行工艺评估和优化。图 4 为飞机壁板装配人机工程仿真结果。

干涉分布	产品	模型	预览	类型	状态	备注
	AD_534A1100-000-001 (AD_534A1100-000-001.1)	Shape 1		碰撞	-1.413mm	相关
	AD_534A1200-000-001 (AD_534A1200-000-001.1)	Shape 1				

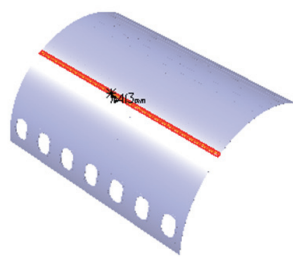


图1 中机身预装配分析

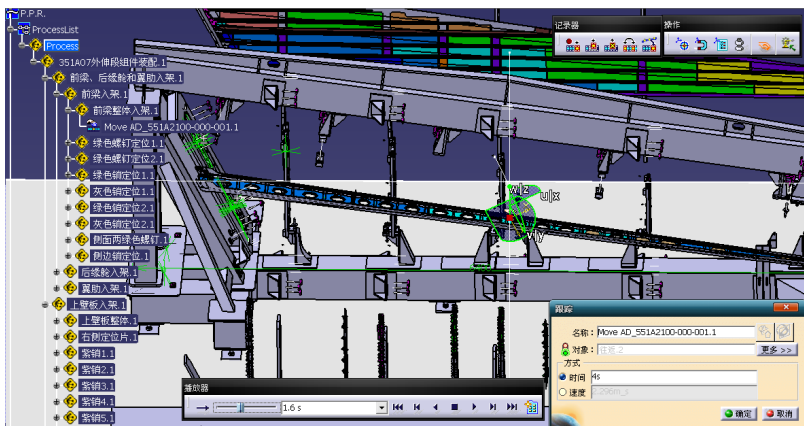


图2 平尾装配序列及装配路径规划

(3)干涉检查和分析。通过整体干涉检查、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,直观或定量化地考察工件装配的约束状态、细节定义以及空间准

## 装配过程模型的轻量化技术

装配过程模型的轻量化技术主要包括多量级轻量化模型生成和复杂装配场景的分层级拆分。首先,

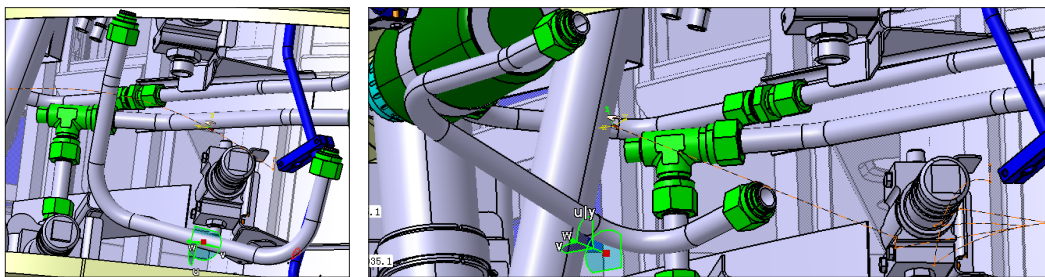


图3 导管装配干涉检查

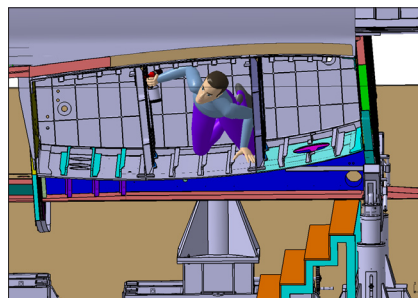
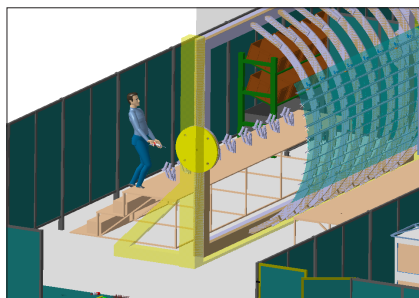
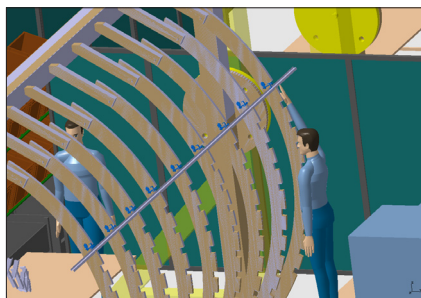


图4 人机工程仿真

按仿真过程对数模信息量的要求不同,运用多量级轻量化模型技术生成满足不同要求的多量级轻量化模型,达到对装配场景进行轻量化的目的;其次,运用分层级装配场景拆分技术将装配仿真过程划分为多个简单装配场景,降低仿真装配场景对硬件的要求;最后,运用变分辨率技术在创建、执行装配仿真任务的时候,通过动态载入载出模型细节,只对当前活动零部件模型和与其可能存在干涉的零部件模型详细显示,其他零部件模型则粗略显示,达到降低对计算机硬件性能的过度依赖,提高装配仿真的效率。

### 1 多量级轻量化模型生成

在进行飞机虚拟装配仿真过程中,各零部件的功能作用不同,对其模型信息的要求也不同,可以将参与装配的模型划分为原始模型、高级轻量化模型、中级轻量化模型、低级轻量化模型4个量级。

(1) 原始模型是指包含零部件完整信息的模型,如进行产品预装配分析时,仅进行静态干涉检查,可采用原始模型。

(2) 高级轻量化模型为包含模型实体信息及辅助实体特征的轻量

化模型,如活动零部件数模,需要对其创建一定的装配路径,需要包含一些路径规划所必需的辅助实体特征,故需采用包含辅助实体特征的轻量化模型。

(3) 中级轻量化模型为仅包含模型实体信息的轻量化模型,如仅仅作为装配环境的零部件数模,只用于检查与活动零部件是否存在干涉,可采用仅包含实体信息的轻量化模型。

(4) 低级轻量化模型为简化内部结构,仅保留外部轮廓实体信息的零部件数模,如在部件装配和整体装配时,组件内部的结构对装配仿真过程影响不大,装配仿真过程仅需要组件外形轮廓实体信息,故可以对其内部结构进行相应简化,去除内部零部件的实体信息,仅保留零部件的装配信息。

### 2 复杂装配场景的分层级拆分

分层级装配场景的实质是,将一个复杂装配场景拆分为几个简单的装配场景,然后再进行装配仿真,分散复杂装配场景对计算机硬件性能的高要求。复杂装配场景的拆分原则有:

(1) 按产品装配层次拆分。产品的装配层次可分为:组件装配;

段、部件装配;产品整体装配。对应地,装配场景可划分为:组件装配场景;段部件装配场景;产品整体装配场景。组件装配场景完成零件到组件的装配仿真,段部件装配场景完成组合件和零件到段部件的装配仿真,产品整体装配场景完成段部件、组合件及零件到产品整体的装配仿真。

(2) 按产品装配工位拆分。结合生产制造单位的布局情况,制定装配工艺方案。复杂装配场景依据装配工艺方案,依据装配工位拆分为不同的装配场景,再进行装配仿真。由于生成的装配仿真结果与生产实际紧密结合,可基本无需编辑嵌入三维AO中,指导现场生产,提高现场装配效率。

## 基于轻量化模型的虚拟装配仿真

结合飞机虚拟装配仿真应用实践,本文提出了一种基于轻量化模型的装配过程虚拟仿真方法。首先对参与装配的零部件进行多量级模型生成,得到4个不同量级的模型,依次分别为原始模型、高级轻量化模型、中级轻量化模型、低级轻量化模型。图5为某型飞机水平尾翼外伸

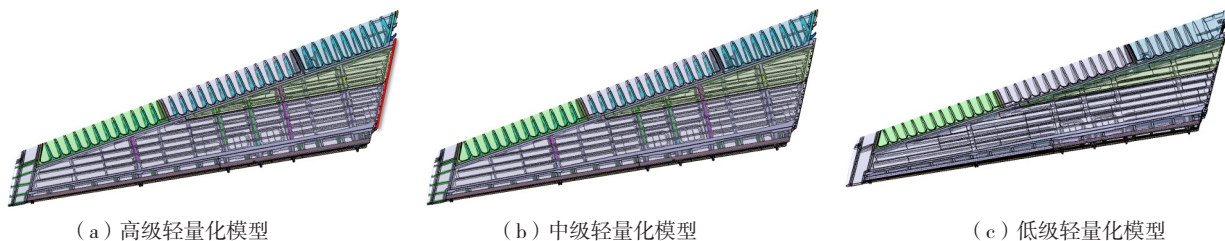


图5 水平尾翼外伸段轻量化模型

段的高级轻量化模型、中级轻量化模型及低级轻量化模型。高级轻量化模型包含水平尾翼外伸段的实体信息,并包含一些辅助特征信息,如图5(a)与中央盒段进行装配的特征信息;中级轻量化模型仅包含水平尾翼外伸段的实体信息;低级轻量化模型则去除水平尾翼外伸段内部肋等零件信息,仅包含外形零件的装配信息。处理后的水平尾翼的部分零部件多量级轻量化模型情况如表1所示。

然后进行装配序列规划。以某型飞机水平尾翼的装配为例,可对水平尾翼进行装配场景的划分,将水平尾翼的装配场景划分为4级装配场景。一级装配场景:水平安定面与左右升降舵装配为水平尾翼;二级装配场景:中央盒段与左右外伸段装配为水平安定面;三级装配场景:前梁、后梁、前缘、后缘舱等装配为外伸段;四级装配场景:缘条、腹板、口盖等零件装配为前后梁,蒙皮、长桁、角片等零件装配上下壁板等。

在划分装配场景后,低层次装配场景完成的装配组件,以低级轻量化模型形式组建高一层次的装配场景,

进行高一层次的装配。如在四级装配场景中完成装配的翼尖罩,以低级轻量化模型形式来组建三级装配场景,进行外伸段的装配;外伸段完成装配后,也以低级轻量化模型组建二级装配场景,进行水平安定面的装配等。

最后进行装配路径规划,在进行装配路径规划时需同步进行干涉检查分析及人机工程仿真分析,以保证装配路径的正确性。在干涉检查分析及人机工程仿真分析时,应根据实际情况,采用优化策略,动态载入相应量级的轻量化模型,提高装配仿真效率。通过活动零部件包围盒算法,根据活动零部件装配路径,搜索可能与活动零部件发生干涉的模型,载入相应的轻量化模型,进行干涉检查。图6为水平尾翼外伸段装配仿真模型,在进行水平尾翼外伸段装配工作某一阶段,后缘舱为活动部件,采用

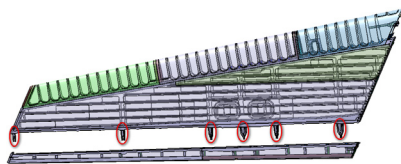


图6 水平尾翼外伸段装配仿真

高级轻量化模型,其装配过程中可能与升降舵铰链支架发生干涉,升降舵铰链支架采用中级轻量化模型。

## 结束语

虚拟装配仿真技术的应用显著加快了飞机装配工艺方案制定和实施的的速度,有利于优化装配工艺方案,从而有效保证了飞机的装配质量。轻量化技术是提高飞机虚拟装配仿真效率的有效手段,本文结合飞机虚拟装配应用实践,从分层级装配场景、多量级轻量化模型和变分辨率装配仿真3方面对飞机虚拟装配过程进行处理,提出了基于轻量化模型的虚拟装配技术,降低了飞机虚拟装配仿真对计算机硬件的性能要求,提高了虚拟装配仿真的效率。

## 参考文献

- [1] 王云渤. 飞机装配工艺学. 北京: 国防工业出版社, 1984.
- [2] 邹爱丽, 秦政琪. 飞机钣金件数字化柔性装配. 机床与液压, 2010(5):9-11.
- [3] 李兵, 陶华. 基于网络的可视化飞机装配工艺系统的研究. 机床与液压, 2007(2):101-103.
- [4] 刘云华, 刘俊, 陈立平. 产品三维数据模型轻量化表示实现. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006(4):602-607.
- [5] 王启富, 杨磊, 黄云保, 等. 协同产品开发中的产品模型轻量化技术. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006(1):108-113.
- [6] 高峻峰, 朱林. 三维模型多量级协同方法研究. 机械工程师, 2007(2):26-29.
- [7] Ding L, Ball A, Matthews J, et al. Annotation of lightweight formats for long-term product representations. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2009, 22(11):1037-1053. (责编 深蓝)

表1 水平尾翼部分零部件轻量化模型

kB

零部件	原始模型	高级轻量化模型	中级轻量化模型	低级轻量化模型
固定前缘	960512	1943	1876	1122
可卸前缘	109568	2347	2262	1516
后缘舱	352265	1756	1682	1342
翼尖罩	36864	1551	1492	888
外伸段	1111491	26626	26064	16948
水平安定面	2254726	53292	52947	34715