

# 大型飞机大部件数字化对接计算机仿真技术

## Computer Simulation Technology of Digital Alignment of Large Size Aircraft Large Part

中航工业北京航空制造工程研究所 蒋倩 侯志霞 梁雪梅 李光丽 申望



蒋倩  
高级工程师,主要从事飞机数字化柔性装配技术研究。

大部件数字化对接是采用产品数字化定义技术、数字化测量技术、数字化模拟仿真技术、数字化定位技术以及数字化集成控制技术等多学科先进技术,使飞机大部件基本实现无人工干预的自动对接。数字化对接系统主要由激光测量系统、数控定位器和集成控制系统组成(图1),

机翼对接仿真模块已经在大型飞机外翼与中央翼的自动化对接中得到成功应用和验证,与以往对接方式相比,计算机仿真技术的应用使数字化对接体现出明显优势,在对接质量和对接效率上都有了很大提高,对加快飞机研制和批量生产都将起到重要作用。

采用数字化对接系统,不仅可以大幅度提高装配质量,缩短装配周期,还可以适应不同尺寸

的机翼机身结构,其通用性强,可节省装配工装,降低生产成本。国外新一代军民机如F-22、F-35、波音737-800、波音787、空客A380、空客A400M等的大部件对接都采用了这种技术<sup>[1]</sup>。

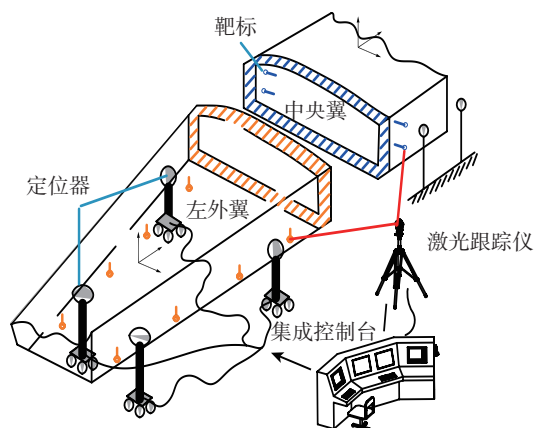


图1 数字化对接系统

### 计算机仿真技术在大部件对接中的作用和意义

飞机大部件对接是飞机总装阶段的主要工作内容,其对接质量的好坏在很大程度上决定了整个飞机的质量,是飞机制造中的关键环节<sup>[2]</sup>。由于大型飞机部件对接区尺寸大、形状复杂,特别是外翼与中央翼的对接,不是简单的面与面的贴合对接,而是外翼的一端要插入到中央翼中,属于曲面套合对接,间隙余量非常小,如果事先不进行对接路径规划和仿真,要快速、准确对接入位,几乎是不可能的事,甚至还会损坏产品对接区,造成产品报废。即便是左右翼都对接入位了,如果最后的目标姿态评估检查不合格,也会影响整个飞机的质量,因此,为了提高对接装配质量,基于数字化虚拟样机的计算机模拟仿真技术起了关键作用,它可以在飞机实际对接前进行对接装配过程的动态虚拟仿真和可装配性分析,优化对接路径,并对虚拟装配后的机翼姿态进行评估,再调姿优化机翼姿态,为实际对接提供最佳路径和最优姿态,这对高质量、高效率、低成本地完成大部件对接装配至关重要。

### 机翼对接调姿轨迹规划与仿真

当中央翼已经定位,各定位器沿翼展方向远离中央翼,外翼吊装至4台定位器上方,通过工艺接头与定位器相连,外翼脱离吊装系统,这时外翼的位姿就是对接前的起始位姿,机翼对接入位后的位姿就是目标位姿,通过开发机翼对接仿真模块,真实地模拟这一装配对接过程,进行可装配性分析和调姿优化,机翼对接仿真模块工作流程见图2。

#### 1 仿真虚拟环境的建立

借助 CATIA 这个主机厂所共用的软件平台,通过 CATIA 二次开发工具 CATIA V5 Automation API 进行软件开发,在 CATIA 高品质的可视化虚拟仿真环境中进行仿真(图3)。

#### 2 数据准备

机翼数字化对接的计算依据主要是设计提供的中央翼和外翼上的理论水平测量点,但大型飞机的机翼很长,机翼由于自身重力翼尖下垂得非常厉害,即使有4台定位器的

支撑,理论数模与实际情况也相差很大。因此,首先应对在此状态下的机翼进行有限元变形分析,变形分析后的水平测量点才可作为计算依据;在某些情况下还要为这些水平测量点分别加上权重参数。

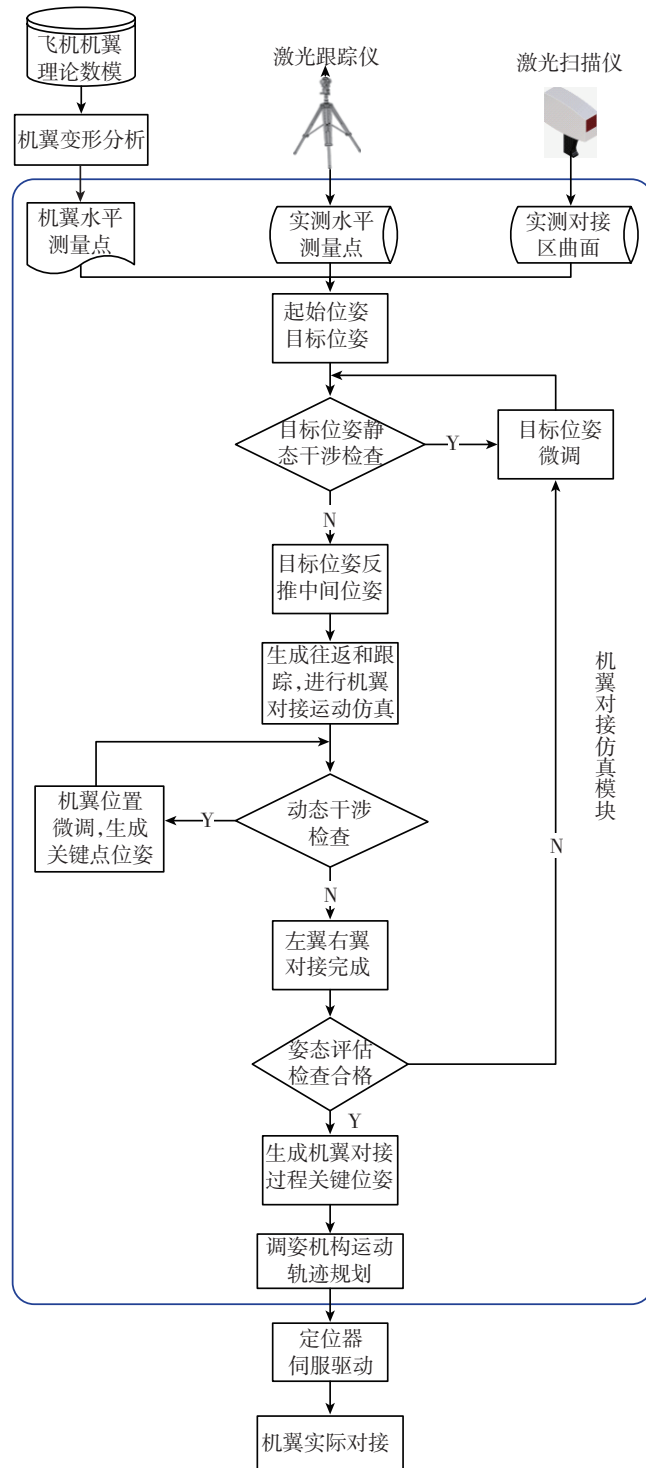


图2 机翼对接仿真模块工作流程

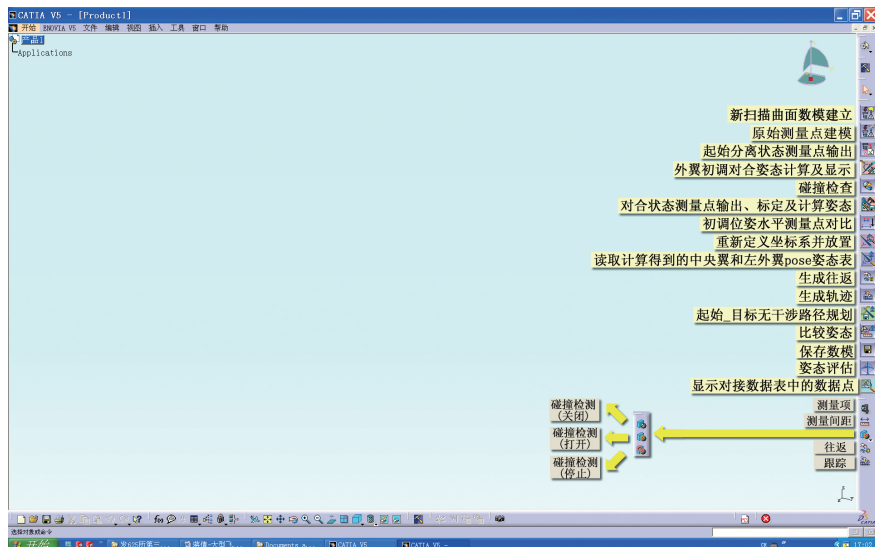


图3 机翼对接仿真模块界面

为了有效地监测机翼对接过程中对接区的干涉情况,在机翼对接前的起始位姿时,由激光扫描仪扫描对接区,生成机翼对接区曲面数模,由激光跟踪仪测量中央翼及外翼上的水平测量点,将这些测量数据作为机翼对接仿真模块的输入。

### 3 在装配测量坐标系下的位姿计算与显示

对现场实测水平点与变形分析后的测量点通过最佳拟合算法即可求得装配测量坐标系下的目标位姿。

### 4 目标位姿的静态干涉检查与调姿

将中央翼与外翼对接区扫描曲面数模在装配测量坐标系下按计算的目标位姿在 CATIA 图形显示区放

置并通过二次开发自动进行静态干涉检查,如果有干涉,微调外翼位姿后再做检查直至无干涉为止,以此位姿作为目标位姿(图4)。

### 5 路径规划

将机翼对接过程分为两个阶段:第一阶段是调姿阶段,第二阶段是平移阶段,在机翼还未插入到中央翼之前要完成姿态调整,之后沿翼展反方向平移入位。

将装配测量坐标系下的起始位姿和目标位姿转换到理论数模的全机坐标系下,对接口的中间位姿由目标位姿沿展向平移一定距离反推得到(图5)。

### 6 对接装配过程的模拟仿真和可装配性分析

应用 CATIA 的数字化样机(DMU)的装配仿真功能,对飞机机翼对接进行运动仿真:中央翼处于目标位姿,外翼由起始位姿 → 中间位姿 → 目标位姿,并进行动态干涉检查,如果有干涉,一般采取调整外

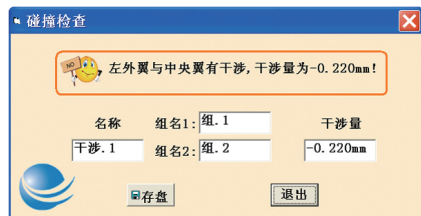


图4 静态干涉检查界面

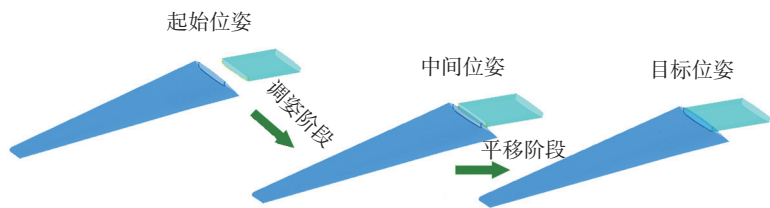


图5 路径规划示意图

翼位置(不改变姿态)的办法避免干涉,得到外翼对接入位的运动轨迹(图6)。

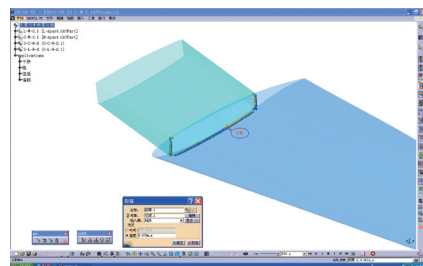


图6 动态模拟仿真及动态干涉检查

### 7 机翼姿态评估

在机翼实际装配对接之前,机翼对接仿真模块对左右翼仿真装配的目标位姿进行评估检查,如果有不合格项,对机翼的目标位姿进行微调,直至检查项全部合格(图7)。

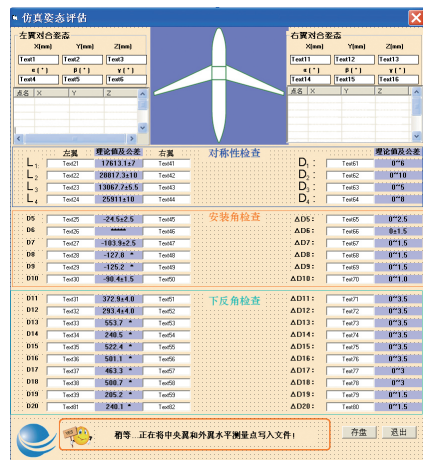


图7 仿真装配后的机翼姿态评估界面

### 结束语

机翼对接仿真模块已经在大型飞机外翼与中央翼的自动化对接中得到成功应用和验证,与以往对接方式相比,计算机仿真技术的应用使数字化对接体现出明显优势,在对接质量和对接效率上都有了很大提高,对加快飞机研制和批量生产都将起到重要作用。

### 参考文献

[1] 许国康. 飞机大部件数字化对接技术. 航空制造技术, 2009(24): 42-45.  
 [2] 王建华. 飞机总装对接技术. 航空制造技术, 2010(2): 32-35. (责编 良辰)