

# 数字化装配技术在中外翼装配中的应用

## Digital Assembly Technology in Inboard Wing Assembly

中航飞机汉中飞机分公司 白卫伟 李亚兰 尹富成 卢文权

**[摘要]** 数字化装配技术在飞机装配中已获得广泛应用,通过对某型机中外翼部件装配工艺和工装的介绍,指出了数字化装配对提高飞机装配质量和飞机装配效率方面的作用,提出了解决数字化装配过程中一般问题的方法。

**关键词:** 数字化装配 装配工艺 仿真

**[ABSTRACT]** Digital assembly technology has been widely used in aircraft assembly. By introducing in-board wing assembly process and tooling of an aircraft, the article shows how the digital assembly can improve quality and efficiency of aircraft assembly, and puts forward methods of solving general problems in the process of digital assembly.

**Keywords:** Digital assembly Assembly process Simulation

**DOI:**10.16080/j.issn1671-833x.2015.21.040

飞机装配是将大量的零组件按照设计技术要求进行组合、连接,以形成更高一级的装配部件或整机的过程。由于飞机零件结构复杂,如蒙皮、腹板、长桁等大部分零件具有尺寸大、刚性小等特点,因此,飞机装配除具有一般机械产品装配的特点外,还有一些自身的制造特点。

传统飞机装配采用模线样板和标准样件的实物传递协调方法。该方法的原始依据是模线样板,根据样板制造标准样件,样板和标准样件是制造零件工装和装配工装的依据。这种方法所需工装数量多,误差大<sup>[1]</sup>,不利于产品质量和装配效率的提高,正在逐步被以数控精确制造、数字化装配、自动钻铆、数字化测量等为代表的数字化制造和装配技术所取代。

数字化装配的基础是基于模型的数字化定义(Model Based Definition, MBD),包括产品几何模型、尺寸公差、建模基准、材料描述、热处理、连接定义、附注技术要求、模型版次等信息。通过产品模型定义,能够全面明确掌握设计技术要求。图1为某产品MBD。

### 1 数字化装配工艺设计与仿真

装配工艺设计为部件装配提供工艺技术准备,内容

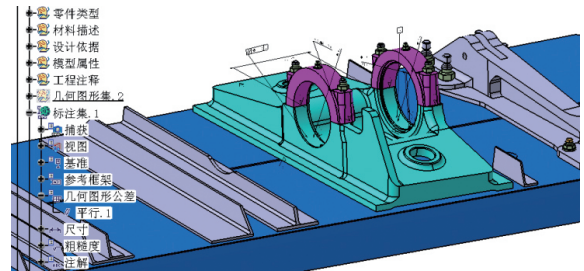


图1 某产品MBD

Fig.1 MBD of a product

包括划分装配单元,选择装配基准和定位方法,确定零组件的技术状态和装配顺序,选择所需的工具、设备和工艺装备。合理的装配工艺设计对于提高装配质量和效率具有关键作用。

传统工艺设计为晒蓝文件,主要采用文字描述的方式,无法直观、准确地表现装配细节,如形状不规则处的钉位排布等,无法预先发现装配不协调因素,造成产品试装阶段现场问题较多。

采用数字化装配工艺设计后,通过 3DVIA Composer 软件,将产品数模、工装数模转换为 XML 格式的轻量化模型,嵌入到 Word 或 PDF 文档,实现装配工艺的可视化(见图2),并通过装配过程仿真优化工艺方案,及时发现并解决大部分干涉和不协调问题,使装配现场问题大幅减少,装配效率明显提高。

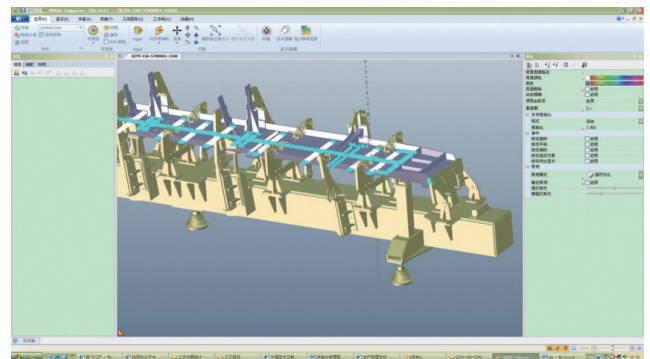


图2 可视化AO

Fig.2 Visualization AO

由于产品零件制造误差、装配应力变形的影响,装配仿真的结果与实际装配并不完全相同,在经过一定架次的实际装配后,应针对反复出现的问题完善、优化相

应的工艺设计。

## 2 工装数字化协同设计与制造

### 2.1 并行协同设计

并行协同设计的核心在于并发地进行工艺设计、工装设计以及装配工艺设计等传统上在研制下游完成的工作<sup>[2]</sup>。在某型飞机研制过程中,使用 ENOVIA VPM 系统作为协同设计平台,该平台包含产品设计环境、工装环境、工艺环境等模块,产品设计数据按成熟度发放,工装、工艺部门根据产品数据成熟度进行相应阶段的生产准备工作。

在协同设计环境下,可实现上下游专业之间的关联设计和并行设计,上游产品数据更改后,下游工装数据在一定范围内可自动跟随更改,避免更改漏贯、贯彻不完全等现象,在一定程度上提高了工装的设计效率。

### 2.2 装配型架的数字化设计制造

#### 2.2.1 数字化装配的型架结构

在面向装配的产品设计环境下,利用装配孔、定位孔或其他工艺孔确定产品零件的位置关系,实现对产品零件的定位,准确度高,并可以简化型架的结构,使起到仅仅对主要结构产品的支撑定位作用,型架开敞性好,有利于工人工作。图3所示为某型机中外翼总装型架。

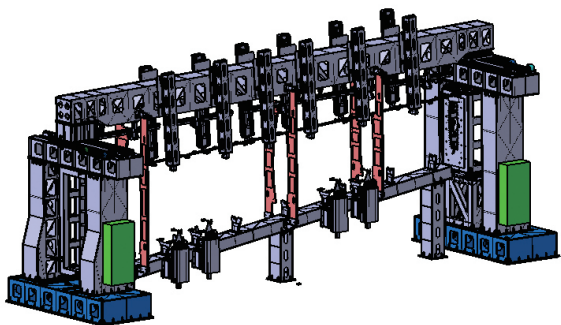


图3 某型机中外翼总装型架

Fig.3 Final assembly jig for inboard wing of an aircraft

#### 2.2.2 数字化型架的制造安装方法

以产品数模(工艺数模)为数据源,卡板、托板等形状和协调关系复杂的工装零件采用数控加工和测量技术。采用激光跟踪仪安装型架,工装定位件的安装精度可达到  $\pm 0.08\text{mm}$ 。数控制造和激光跟踪仪安装技术,减少了模拟量传递过程中协调环节的误差积累,提高了型架的安装准确度,减少了产品装配过程中的不协调现象。

## 3 数控调姿系统

数控调姿系统一般由数控定位器、测量系统、控制

系统组成。数控定位器是一个3自由度的模块单元<sup>[1]</sup>,3个数控定位器并联重构,可实现对飞机部件位姿的调整,在飞机部件对接方面已成熟应用。

在机翼壁板调姿定位系统中,采用了4组数控定位器(图4)、6个运动模块,实现对壁板姿态的控制,在壁板刮削工艺过程中多次重复定位,提高了部件装配效率。

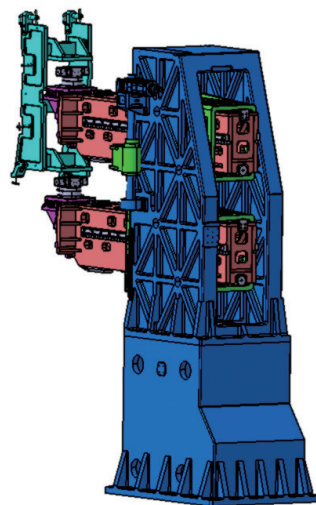


图4 壁板数控定位器

Fig.4 CNC locator for wing panel

在中外翼与发房对合工位,采用4个数控定位器并联,实现对中外翼位姿的调整,采用1个五轴数控定位器(图5)实现发房后段与机翼位姿的协调,并在此基础上,对中外翼和发房后段支架的对合面进行数控铣削、制孔,提高了对接的质量。

中外翼与中央翼、外翼采用围框式对接结构,对接面为设计分离面。在机翼各部件对接前,需对接面进

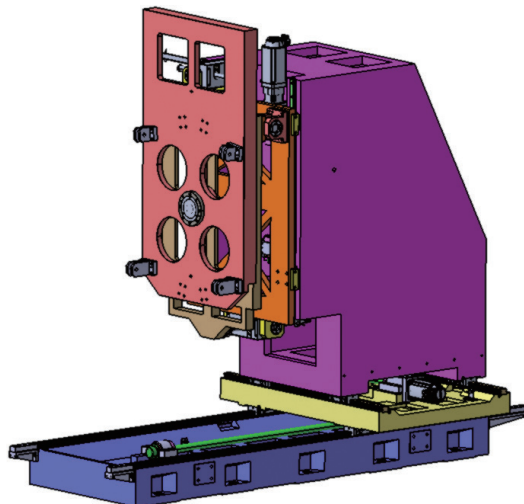


图5 数控定位器

Fig.5 CNC locator

行精加工,以保证对接面的平面度和周圈连接孔位置的协调。中外翼精加工是关键工艺过程,对保证对接后中外翼的后掠角、上反角等姿态非常重要。用激光跟踪仪测量中外翼表面的测量点,并将测量数据传送至控制系统,分析运算后将运动指令发送至设在中外翼下表面的数控定位器,实现对机翼姿态调整。

## 4 产品检测和数据传递

在飞机数字化制造技术中,数字化测量技术是非常重要的环节,与数字化设计、数字化制造形成闭环。产品装配过程中,采用数字化测量仪器对产品上特定的点位进行测量,用以评价产品的几何尺寸和位置特性,常用的测量仪器有激光跟踪仪、激光雷达、iGPS等。通过数字化测量,实现了产品的精准装配,提升了飞机装配制造精度<sup>[3]</sup>。

在中外翼上、下壁板和中外翼总装部件下架前,都要用激光跟踪仪对产品上预设的点位进行测量,用以评价产品型面的正确性。相对于传统用检验卡板检查产品的方法,具有测量数据准确、受人为因素小等优点。

中外翼与发房对合过程中,依据中外翼部件总装下架时的外形实测数据,用激光跟踪仪对分布在机翼表面的测量点进行测量,并与设定的数据进行比对,通过数据处理系统完成实际与理论数据的最佳拟合,完成中外翼位姿的调整。

## 5 技术难点和解决措施

### 5.1 襟翼舱定位

襟翼舱由Ⅱ梁、隔板、滑轨、蒙皮等零组件构成。襟翼舱与Ⅰ梁和上、下壁板在中外翼总装型架上进行组合,形成完整的中外翼翼盒。由于产品结构的原因,襟翼舱无法采用定位孔的定位方法。在分析各组件定位关系和刮修、制孔、铆接工艺过程的基础上,采用工艺接头对襟翼舱进行定位,解决了襟翼舱定位和壁板刮修过程中运动空间的问题。

### 5.2 产品变形的控制

受夹紧力和装配应力的影响,产品在脱离装配工装定位器的约束后,形状会发生变化。受重力影响,产品放置姿态变化后,形状也会发生变化。当产品形状变化超出一定范围后,部件调姿过程将无法进行。为此,设置了部件保形工装(图6),通过分布在产品下表面的工艺接头,将产品与保形架固定,起到了减小产品变形的作用。

## 6 不足之处与解决办法

### 6.1 数字化装配工艺及仿真技术的应用

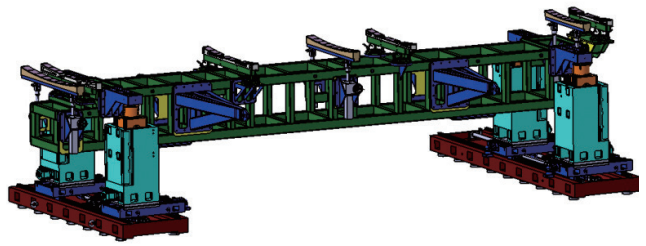


图6 保形工装  
Fig.6 Clamp fixture

产品三维模型在直观地表达产品零件位置关系的同时,更重要的作用是在产品三维模型定义的基础上,提取尺寸及公差信息,用最优化方法对装配尺寸公差进行分析与综合,使装配公差能合理地分配,以提高产品的装配性能<sup>[4]</sup>。通过分析预测结果,确定并优化导致实际装配问题的工艺因素,最终满足装配技术要求。在装配工艺优化分析方面,还需要突破提高,以更大限度地发挥产品三维模型定义的作用。

### 6.2 加强精确制造技术的应用

在中外翼Ⅰ和Ⅱ梁装配工位、中外翼总装工位、中外翼与发房对合工位上,共有20多处需要现场刮修的部位,单架份中外翼部件各工位现场刮修工序时间共计约4天,刮修研合工作量是影响部件装配进度的一个重要因素。应改进装配工艺方法,加强精确制造技术的应用,采用无余量或少余量装配的方法,提高装配效率。

## 7 结束语

数字化装配是飞机制造技术发展的方向,基于MBD的飞机设计技术为实现数字化装配创造了条件。在实现数字化装配的进程中,在关注装配过程数字化的同时,还要注重产品的面向装配的结构设计,提高产品的装配工艺性,并提高零件精确制造水平,降低零件制造偏差,减少装配不协调现象,以利于数字化装配的顺利实现。

### 参考文献

- [1] 赵建国,郭洪杰,王丽秀.飞机数字化柔性精准装配技术研究及应用.航空制造技术,2014(21):32-35.
- [2] 范玉青,梅中义,陶剑.大型飞机数字化制造工程.北京:航空工业出版社,2011:259.
- [3] 邹冀华,许国康.大型飞机装配中的数字化测量系统分析和研究.航空制造技术,2010(3):49-53.
- [4] 王姮,侯志霞,李光丽.面向装配的飞机数字化设计技术.航空制造技术,2014(21):63-65.

(责编 谷雨)