

# 数字标工在大客前机身结构部段样件试制中的应用

## Application of Digital Master Tooling in Large Aircraft Front Fuselage Structure Section Prototype

中航工业江西洪都航空工业集团有限责任公司 刘春锋 郑堂介 廖建华 汪建东

**[摘要]** 提出了在飞机制造中采用具有实物标工特征及用法的数字标工进行装配协调的方法,并在大客前机身结构部段样件的制造中进行了应用研究,阐述了在三维 MBD 数模环境下,进行数字标工项目选取及应用的具体工艺方法。

**关键词:** 数字标工 MBD 飞机装配

**[ABSTRACT]** The idea of digital master tooling, with character and usage of physical master tooling, in aircraft manufacture for assembly coordination is presented. By means of applying it in the fabrication of large aircraft front fuselage structure section prototype, selection and application of digital master tooling are described at length based on MBD environment.

**Keywords:** Digital master tooling (DMT) MBD Aircraft assembly

在飞机制造过程中,为保证零部件结构外形和交点的互换协调,需采用大量的体现产品形状与尺寸的专用工艺装备,来保证飞机的结构形状和尺寸,使其符合设计准确度和互换协调要求<sup>[1]</sup>。

在传统的飞机制造模式中,采用标准工装协调法来协调制造零部件,在制造过程中通过标准工装实物模型来传递产品的形状和尺寸,保证各类工艺装备的制造准确度和协调准确度,以达到零部件之间的互换要求,保证飞机的制造准确度及生产互换协调。但是由于传统的标准工装协调法的协调环节多、协调路线长,造成飞机制造协调过程中尺寸传递积累误差大,装配现场经常存在大量的返工现象,装配周期长,也不利于产品的互换协调和质量保证<sup>[2]</sup>。

随着数字化制造技术在国内飞机制造行业的广泛应用,实物标准工装协调的方法逐渐被数字化协调方法所取代,协调路线显著缩短。此外,数字化制造方式又使得零件制造误差显著减小,极大提高了飞机制造质量,返工现象大量减少。现在国内飞机制造中产品设计已采用全数字化产品定义,只要输出基于 MBD 的三维数模,在制造过程中,数字化协调方法以精确的数字量

传递来保证零部件之间的形状与尺寸,以及各类工艺装备的制造协调准确度。

### 1 数字标工协调方法

数字标工是根据传统实物标工的定义,采用虚拟数字量形式展示三维数字化飞机零部件制造协调的几何模型,以数字量形式体现产品部分外形、对接接头、孔系之间的相对位置准确度。

数字标工建立时,以三维 MBD 数模为基础,通过建立统一的基准系统,规定了飞机部件、组件、零件及工艺装备等所协调控制的要素在虚拟空间环境中的相对位置关系,采用一致的几何形状、尺寸和合理的容差分配,达到各要素间的准确协调。这是保证生产工艺装备之间、产品部件和组件之间的尺寸和形状协调与互换的唯一依据<sup>[3]</sup>。

数字标工协调法是指以数字标工来代替传统的实物标工作为标准尺度,在统一基准下把产品协调部位的尺寸与形状信息,通过计算机辅助工装设计,以数字量方式直接传递到生产工艺装备,以数字化测量系统来实现制造、协调、检验、复制等有关生产工艺装备的过程。

### 2 数字标工的工程应用

大客等直段样件研制未采用实物标工,而是以数字量传递的数字标工协调方法对等直段壁板内形卡板、滑轨定位器、产品端头模板、舱门铰链及锁系统轴线等定位器在统一基准下进行精确描述,并采用高精度的数字化加工与测量设备将这些数字量物化为模拟量,最终传递到等直段实物上,可提高产品和工装的制造准确度,以此来提高协调准确度,实现各单壁板、半桶形大壁板、总装工装之间、工装与各产品之间,以及产品之间的互换协调性。

#### 2.1 协调控制原则

等直段结构部段样件协调互换原则是以产品的全数字化定义作为基础,采用数字量传递的数字标工协调方法来进行装配协调。工艺装备的设计、制造以及数字

量协调,采用数控加工,数字化测量、安装以及检测技术。

## 2.2 主要互换协调部位及协调方法

### 2.2.1 对接端框互换协调部位及方法

等直段结构部段对接端框的互换协调部位如图1 中所示,其主要的协调部位包括等直段前、后端面处长桁轴线,座椅滑轨轴线,地板轴线面,蒙皮及长桁端头。

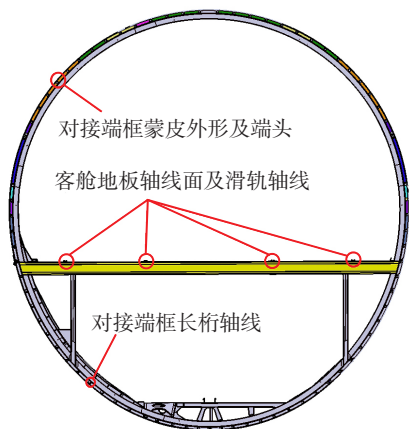


图1 对接端框的协调部位

Fig.1 Coordination position of docking end frame

采用的数字化协调方法是分别以蒙皮端面、长桁轴线面、滑轨轴线、地板轴线面作为基准,采用数字量协调,在端面处设置了长桁对接控制工装、在航向设置了地板滑轨控制工装,分别采用数字化协调制造的专用装

配夹具来保证互换协调的要求,从而保证了对接时的要求。

### 2.2.2 舱门与门框协调部位及方法

等直段上的前货舱门与门框的协调部位如图2 所示,协调部位主要有两部分,分别是前货舱门与门框的外形协调及交点协调。

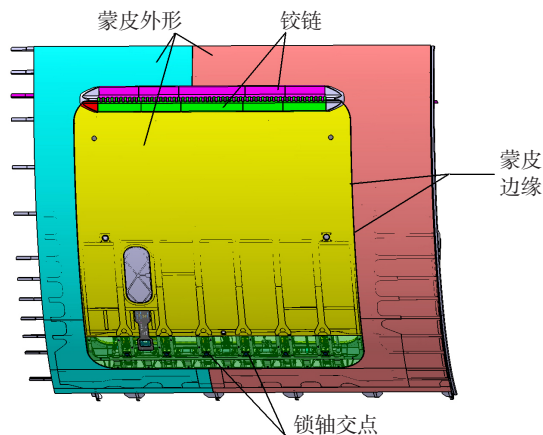


图2 前货舱门与门框协调部位

Fig.2 Coordination position of forward cargo door and doorframe

前货舱门与门框外形、交点的协调也采用数字标工协调方法,分别以琴键铰链接头、锁轴接头、蒙皮外形及对缝处蒙皮边缘为基准,在前货舱门与门框的装配、检验工装上设置蒙皮外形、边缘的定位、检测装置,

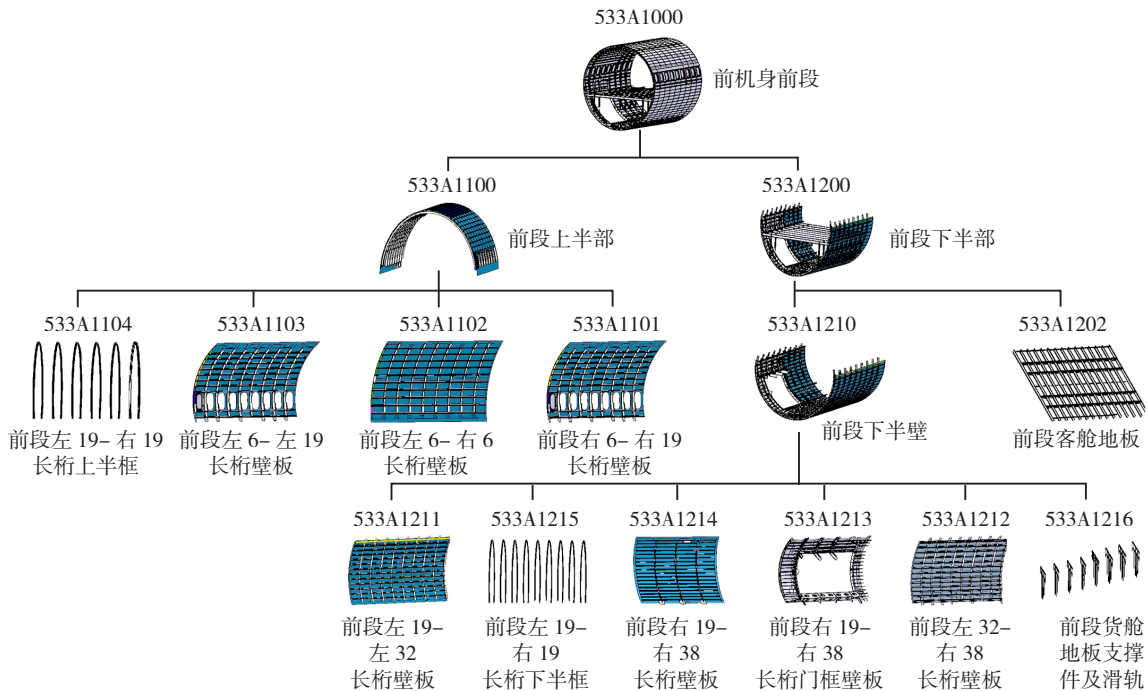


图3 部段样件主要装配流程

Fig.3 Main flow of structure section prototype assembly

以及铰链、锁轴交点的控制装置,采用数字化协调制造及安装的专用装配夹具保证工装之间的协调要求。装配时,首先保证蒙皮外形、边缘及锁轴交点准确,通过检测后再协调安装琴键铰链接头,分别保证前货舱门、门框外形与交点的协调,进而保证舱门与门框在安装时的协调。

### 2.3 互换协调部位实现过程

#### 2.3.1 对接端框协调部位实现过程

对接端框的蒙皮在装配过程中按 K 孔及边缘线定位,长桁按轴线及端头定位,在端框处航向设置地板滑轨控制工装,保证对接时的要求,主要装配流程如图 3 所示。

基于三维 MBD 设计数模提取相关数字量信息,对关键协调部位定义具有类似传统实物标工特征的数字标工。对接端面数字标工包括坐标系、MDS、基准系统、长桁轴线、地板平面、协调位置的要求标注、协调位置检查要求标注、协调各个型架需要的协调特征标注说明、协调位置的相关要求、相协调的工装定检要求及操作方法<sup>[4]</sup>。

合理分配各零组件相应协调部位的容差,协调制造各装配工装及零件工装,工装的设计与制造以 MBD 产品数据集及数字标工为依据,全面采用数字化制造协调技术和方法进行,包括各协调部位(如装配型架定位器等均以数字标工为协调依据进行设计并采用数控制造和检测,以及采用激光跟踪仪进行安装和检测)。

图 4 给出了数字化协调的整个协调过程,这样即可保证对接端框与大客相协调对接部段的对接协调准确

度。

#### 2.3.2 舱门与门框协调部位实现过程

等直段舱门与门框的协调制造采用数字标工协调方法,结构上分别在舱门和门框的装配型架上设置琴键铰链和锁钩接头的定位器控制交点,设置内型板控制外形,设置检验挡块控制蒙皮边缘。所有工装元素均按数字标工中提取的型面、交点轴线、坐标系和基准系统等设置,并通过数字化检测设备进行安装和检测,保证工装之间的协调,如图 5 所示<sup>[5]</sup>。

## 3 数字标工协调的效果

该项目采用数字标工代替传统的实物标工来协调飞机的制造与装配,使生产过程能够完全实现数字化协调,通过数字量的传递,采用数字化设备直接加工,并且结合数字测量系统装配各类工艺装备和产品,大大减少了协调环节,既提高了制造精确度,又提高了它们之间的协调准确度,各类工艺装备平行独立制造,缩短了协调路线,降低了移形误差,从而克服了传统飞机装配协调技术的缺点,大量减少了实际装配过程中的返工,从而大大缩短了整个生产周期并且显著提高了装配质量。

## 4 数字标工的优势与不足

通过在大客前机身结构部段样件研制过程中对数字标工协调方法的探索和应用,基本掌握了该协调法的特征和应用方法,数字标工协调方法将整个飞机生产制造过程看成是一个数据的采集、加工处理和传递的流程,与传统的实物标工协调法相比,数字标工协调法主

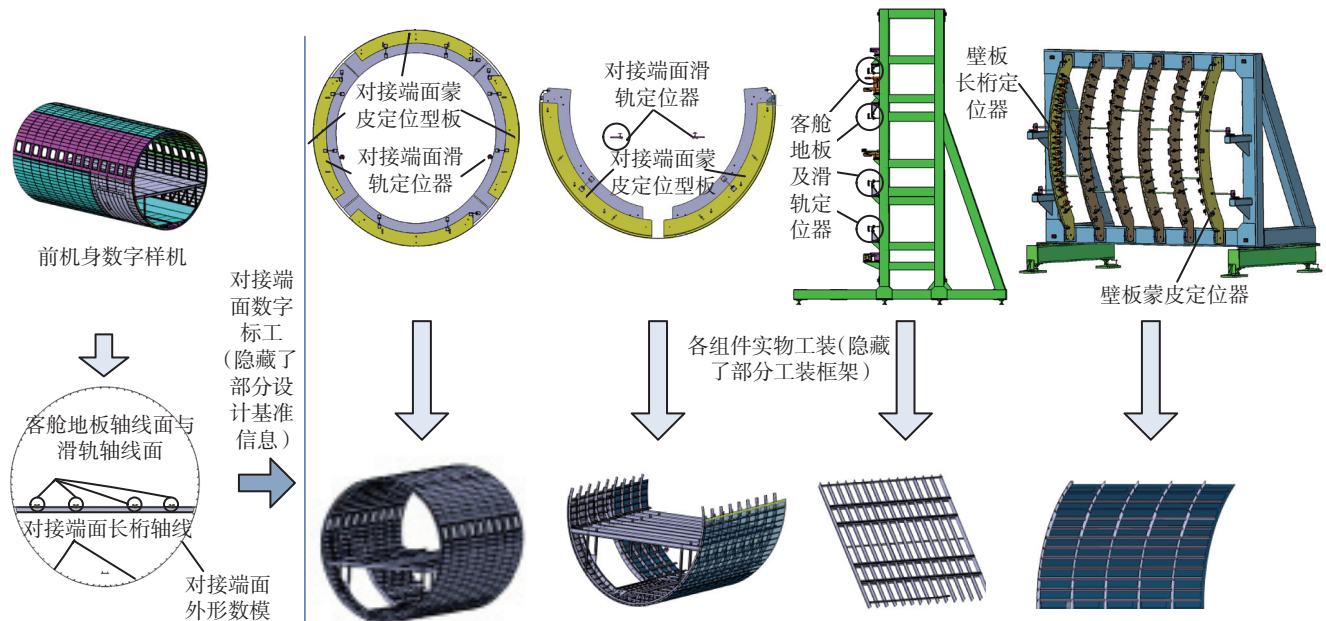


图4 利用数字标工协调对接框处装配  
Fig.4 Using DMT make connect frame assembly coordination

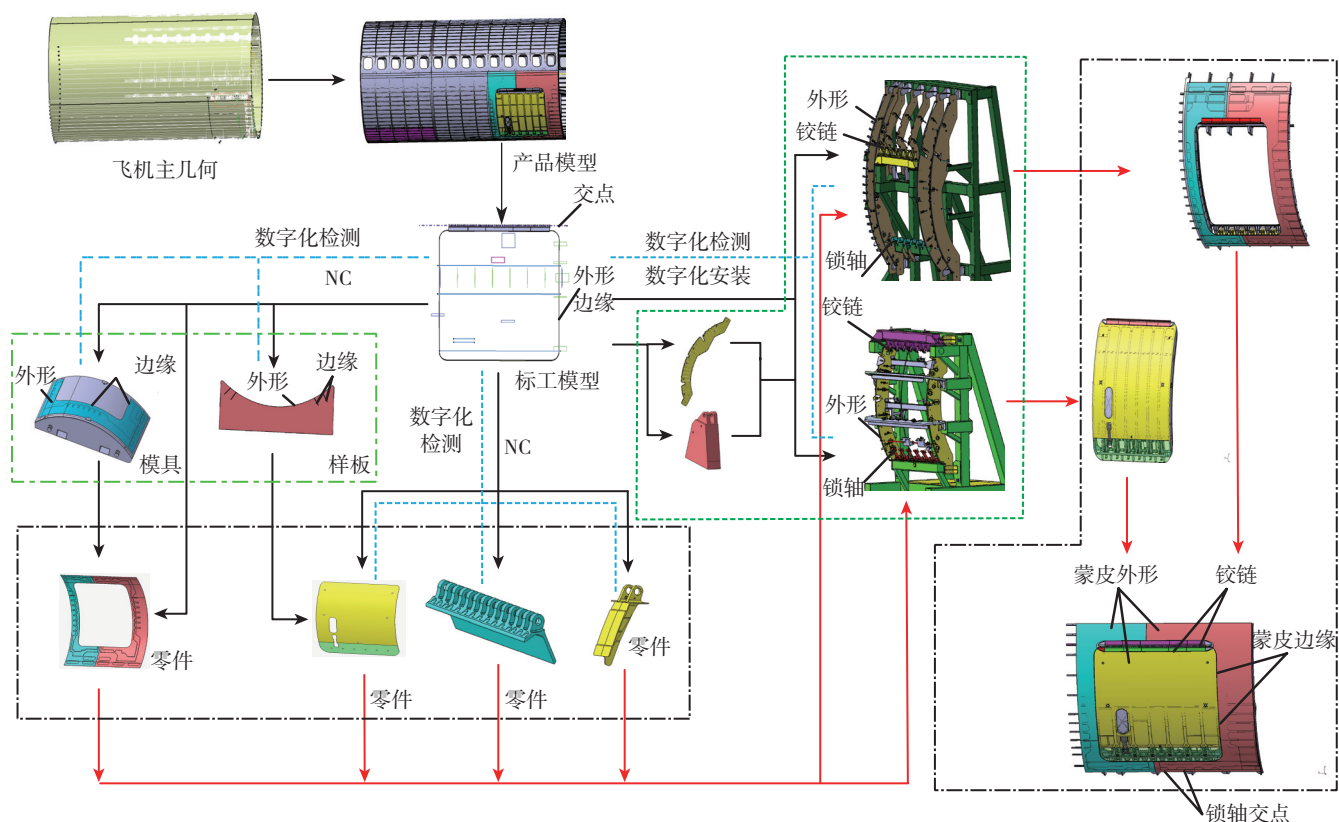


图5 利用数字标工协调舱门与门框装配

Fig.5 Using DMT make cargo door and doorframe assembly coordination

要有下列优势:

(1) 数字标工不受实际结构通路影响, 克服了实物标工应用的局限性, 应用范围更广泛;

(2) 消除了实物标工的设计和生工作, 消除了实物标工保管及定期检修校验, 进而大大降低了生产成本;

(3) 数字标工协调方法显著缩短了产品协调路线, 有利于并行设计和独立制造, 从而大大缩短生产准备周期, 并且减少了形状、尺寸传递转换环节的移形误差, 有利于保证产品的装配质量。

但是数字标工协调法也存在不足之处, 如基于 DMT 的数字化协调方法主要是采用数字化加工与测量设备将数字量信息传递到实物上, 制造设备及测量系统误差最终都会累积在各工装及结构件上, 影响装配协调, 因此其对设备精度、过程控制保证和人员操作水平要求较高。

## 5 结论

目前, 航空产品设计已基本实现了全数字化。设计、工艺、生产并行工作以及异地协同工作等逐渐成为航空产品研制的新模式。传统的依靠模拟量传递进行协调的方法无法发挥产品设计数字化的优势, 无法实现大部

件的异地协同生产, 生产准备周期、研制成本、生产效率等均不能满足大飞机研制生产的要求。因此, 数字化协调的方法应运而生。

该项目通过在大客前机身结构部段样件研制过程中应用数字标工协调方法, 较充分地发挥了数字化协调的主要功能和优势, 使在较短的时间内非常顺利地完成了整个项目部件的装配。可以看出, 数字标工在大飞机研制生产中必将有很大应用前景, 将成为今后飞机装配协调的主要方法, 我们也将继续深入此方面的应用研究。

## 参考文献

- [1] 王云渤, 张关康, 冯宗律. 飞机装配工艺学. 北京: 国防工业出版社, 1990.
- [2] 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.
- [3] 邹冀华, 刘志存, 范玉青, 等. 大型飞机部件数字化对接装配技术研究. 计算机集成制造系统, 2007, 7:1367-1373.
- [4] 许旭东, 陈嵩, 比得文, 等. 飞机数字化装配技术. 航空制造技术, 2008(14):48-50.
- [5] 周秋忠, 范玉青. 基于数字标工模型的飞机数字化协调方法. 计算机集成制造系统, 2008(4):683-689.

(责编 亦非)