

# 基于 MBD 的飞机数字化装配工艺设计及应用

## Design and Application of MBD-Based Aircraft Digital Assembly Process

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 郭具涛 梅中义

**[摘要]** 基于模型定义技术使三维模型成为产品设计生产过程中的唯一依据,这一应用必然改变传统的生产模式。文章在基于模型定义技术的背景下,提出了飞机数字化装配工艺设计及应用模式,在该模式下,通过工艺方案设计和详细工艺设计,完成了三维装配指令的构建,从而为装配现场可视化提供了依据。

**关键词:** 基于模型定义 飞机装配可视化 工艺设计 工艺仿真 三维装配指令

**[ABSTRACT]** The technology of model-based definition makes three-dimensional model to be the sole basis in product design and production process, its application must change the traditional mode of production. In the background of model-based definition, aircraft digital assembly process design and application mode is proposed. In this mode, through the process design and detailed process design, three-dimensional assembly orders are constructed, which provides the basis for visualization of on-site assembly.

**Keywords:** Model-based definition Aircraft assembly visualization Process design Process simulation Three-dimensional assembly order

当前,我国航空制造业的数字化技术发展迅速,三维数字化设计技术得到了广泛的应用。特别是基于模型定义(Model-Based Definition, MBD)技术的实施,使三维模型取代二维图纸成为设计制造的唯一依据。随着 MBD 技术的深入应用,必然会对工艺规划设计、车间生产应用等产生重大影响,引起数字化制造技术的重大变革,真正开启三维数字化制造时代。本文在 MBD 技术背景下,对飞机数字化装配工艺设计及应用做一些阐述。

## 1 MBD 技术

### 1.1 MBD 技术的内涵

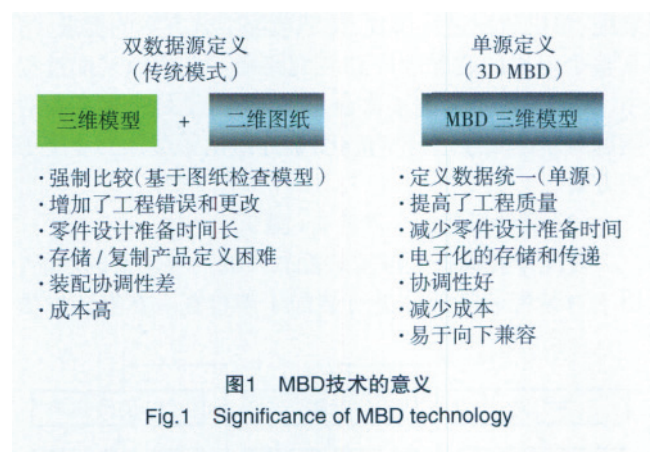
基于模型的定义(MBD),是一个用集成的三维实体模型来完整表达产品定义信息的方法体,它详细规定了三维实体模型中产品尺寸、公差标注规则和工艺信息表

达方法<sup>[1]</sup>。

从狭义上说,MBD 就是对数字化模型进行规范化的全三维标注;从广义上说,MBD 不仅是对模型进行三维标注,和传统的以工程图为核心授权资料的生产模式相比,以 MBD 数据集为唯一依据的制造技术带来了生产模式的变革,更有效地增加了数字化技术带来的便利。

### 1.2 MBD 技术的意义

在 MBD 的技术体系中,MBD 数据集的内容包含设计、工艺、制造、检验等各部门的信息<sup>[2]</sup>。在数据管理系统和研制管理体系的控制下,各职能人员可以在一个产品模型上协同工作,提高了设计效率。同时也提高了产品的可制造性。其意义如图 1 所示。



## 2 基于 MBD 的飞机数字化装配工艺设计及应用模式

MBD 技术应用以前,装配工艺设计工作以工程图或工程图纸为主要工作依据。采用 MBD 技术后,产品结构设计工作的结果是数字状态的三维数模,不再生成纸质形态的工程图纸。因此,对于工艺设计人员、生产装配现场的操作人员与技术人员,他们的工作依据与工作方式也发生了深刻变化。基于 MBD 的飞机数字化装配工艺设计及应用模式如图 2 所示。

在该应用体系中,通过建立 MBD 的数字化定义规范,采用三维建模进行数字化产品定义,建立起满足协

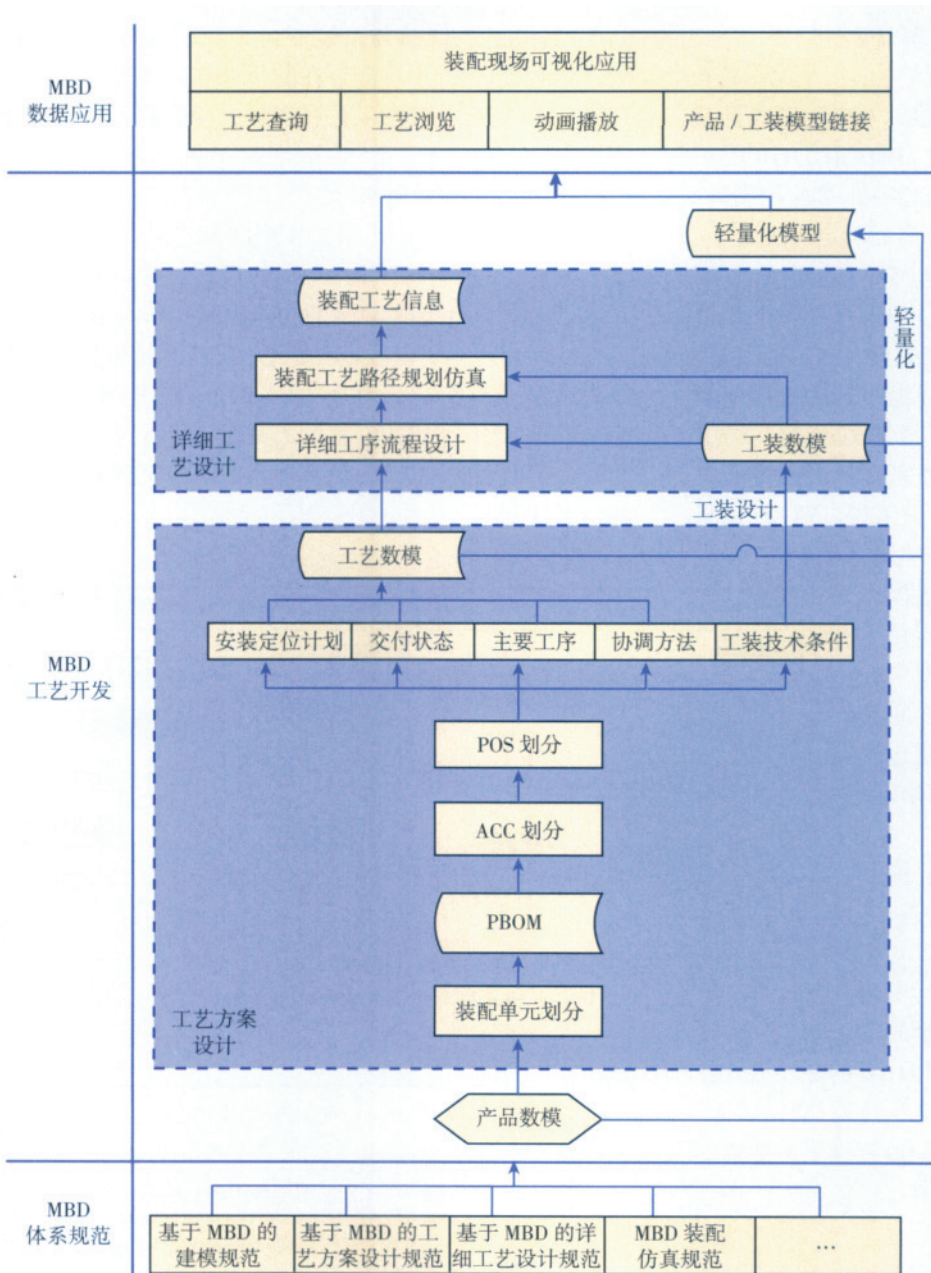


图2 基于MBD的飞机数字化装配工艺设计及应用模式  
Fig.2 MBD-based aircraft digital assembly process design and application mode

调要求的飞机全机级三维数字样机和三维工装模型。工艺人员在 MBD 的工艺设计规范的指导下,直接依据三维实体模型开展三维工艺设计,改变了以往同时依据二维工程图纸和三维实体模型来设计产品装配工艺和零件加工工艺的做法。依据数字化装配工艺流程,建立起三维数字化装配工艺模型,通过数字化虚拟装配环境对装配工艺过程进行数字化模拟仿真,在工艺工作进行的同时及飞机产品实物装配之前,进行制造工艺活动的虚拟装配验证,确认工艺操作过程准确无误后再将装配工艺授权发放,进行现场使用和实物装配。在数字化装

配工艺模拟仿真过程中生成装配操作过程的三维工艺图解和多媒体动画数据,结合装配工艺流程建立起数字化装配工艺数据,为数字化装配工艺现场应用提供依据。

### 3 工艺方案设计

#### 3.1 工艺方案设计内容

工艺方案设计的工作内容:首先,直接依据 MBD 三维产品数模进行装配单元划分,构建出 EBOM;然后,将 EBOM 转换为 PBOM;最后,在形成的 PBOM 的基础上,划分出 ACC 级,再将各个 ACC 划分出 POS 单元,并确定每个 POS 单元的安装定位计划、交付状态、主要工序、协调方法和工装技术条件。

EBOM 称为工程物料表,在装配工艺设计中,EBOM 中的数据是飞机装配的数据源。方案设计过程中,首先根据 MBD 三维产品数模构建出 EBOM 结构树。然后根据装配方法与装配工艺技术水平,同时考虑工艺方面及生产效率,从制造生产角度将结构按工艺分离面划分,需要对原来设计的结构关系和零组件隶属层次进行一定程度上的调整,将产品结构从 EBOM 形式调整成装配结构树 PBOM,指导后继的工艺设计工作。在

形成 PBOM 的过程中,考虑到工艺方面的因素对原结构进行修改的同时,要使 PBOM 数据与 EBOM 中的数据保持一致,这包括不能在原结构中增加和删除零组件、改变所用零件的数量以及改变部件之间的安装关系等。因而调整的方法主要有:增加工艺构型结点、删除工艺构型结点、修改结点描述、移动结点子树等。为了使装配流程平衡和装配节拍协调,在划分 ACC 时要尽可能使每个 ACC 的工作量相等。在划分 POS 时要体现“精益生产”的思想,尽量保证每个 POS 的工作量相等,一般使每个装配型架上的装配工作都划分成一个 POS,同

时还要考虑工时定额分配和工人工资计算等问题。

### 3.2 工艺流程的组织

在基于MBD的飞机装配工艺设计及应用模式下工艺流程的组织分4个层次:ACC层、POS层、JOB层和STEP层。其中ACC(Assembly Control Code,装配控制码)是按一定的工作量和由产品工艺分离面确定的进度、成本、质量来控制 and 生产组织单元的。POS是对ACC细化的结果,与POS相对应的是工位,POS按照装配线上进行生产活动的地理区域以及区域中相对固定的人员、工艺装备、专用工具和设备等进行组织。JOB划分是将POS所包含的装配内容按工艺要求划分为一项项的工作,每个JOB对应一个人单独完成或多人协同完成的一项工作,也对应装配中的一道工序。STEP是装配工艺流程的最小、最基本的工作单元,在STEP中要求用准确的语言描述操作过程、定位方法和基准、加紧方式、专用工具、量具以及辅助材料等,对应装配中的工步<sup>[3]</sup>。4个层次装配工艺流程之间的关系是ACC层包含POS层,POS层包含JOB层,JOB层包含STEP层,如图3所示。

### 3.3 MBD 三维工艺数模的构建

通过工艺方案的设计确定了每个POS单元的安装定位计划、交付状态、主要工序、协调方法和工装技术条件。

为了体现MBD无纸化的思想,工装技术条件采用非纸质文档,以数字量的形式传递给工装设计人员。并且采用MBD的标注方式在三维产品数模结构树中增加安装定位计划、交付状态、主要工序和协调方法的相关信息,完成三维工艺数模的构建,从而为详细工艺设计提供依据。

## 4 详细工艺设计

### 4.1 详细工艺组织结构

详细工艺设计的依据是MBD三维工艺数模和MBD三维工装数模。详细工艺设计是借助Dassault公司的DELMIA DPM平台进行工艺仿真完成的。工艺方案设计的结果是很多相联系的POS单元。工艺仿真的任务就是在POS对象的基础上,先进行JOB和STEP单元的划分,然后以POS为组织结构单元进行工艺仿真。

将POS流程单元所对应的MBD产品数模和MBD工装数模导入到DELMIA DPM平台中,完成工序流程单元的划分及参与装配件的指派;再根据工艺规程,结合工程数据与工装数据,通过DELMIA DPM仿真系统建立起以工艺活动为中心的工程、工装、工艺数据组织模型,对零部件装配运动路径进行规划仿真,并进行产

品与产品之间、产品与工装资源之间的碰撞与干涉检测,检测工艺设计中可能存在的干涉与碰撞等不协调问题,使设计完成的装配工艺具有最大程度的可行性与合理性。

### 4.2 详细工艺设计结果

详细工艺设计的结果由4个部分组成:工艺动画、工艺图解、工艺文件和Process仿真原文件。其中工艺动画可以由DELMIA自带的功能生成;Process仿真原文件的保存是为了以后修改备用;工艺图解和工艺文件是通过编写脚本文件,利用DELMIA的功能导出的,工艺文件是XML格式的。其形式如图4所示。

为了便于管理,工艺仿真导出的4个文件要有一定的命名规则。

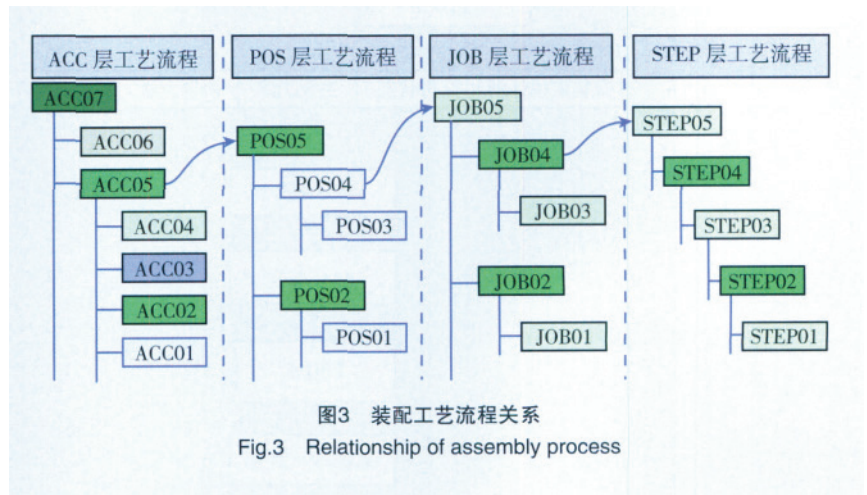


图3 装配工艺流程关系  
Fig.3 Relationship of assembly process

```
<?xml version="1.0" encoding="gb2312"?>
<POS>
  <PosNo> 工位号 </PosNo>
  <PosDescription> 工位描述 </PosDescription>
  <AssemblyObject> 装配对象 </AssemblyObject>
  <AssemblyTooling> 装配工具 </AssemblyTooling>
  <JOB>...</JOB>
  <JOB>// 以工位 POS 为单元组织工艺文件
  <JOBNo> 工序号 </JOBNo>
  <JOBName> 工序名称 </JOBName>
  <JOBDescription> 工序描述 </JOBDescription>
  <PartList>// 参装零件列表
  <PartNo>...</PartNo>
  <PartNo> 参装零件号 </PartNo>
</PartList>
  <STEP>...</STEP>// 工步序列
  <STEP>
    <STEPNo> 工步号 </STEPNo>
    <STEPContent> 工步的描述 </STEPContent>
    <STEPIllustration> 工艺图解 </STEPIllustration>
  </STEP>
</JOB>
</POS>
```

图4 以POS为单位的XML工艺文件格式  
Fig.4 XML process file format by POS unit

## 5 适应 MBD 技术的数字化装配工艺现场应用

### 5.1 现场应用模式

装配工艺可视化技术是把产品设计信息、制造资源信息和工艺设计信息整合后以数字量的形式传递到车间现场,并展示出来的方法<sup>[4]</sup>。

在装配车间的各装配工位铺设网络,架设生产现场数字化应用终端设备,将三维数据传递到装配操作现场,运用多媒体的装配工艺信息、三维产品数据和三维工装数据,在数字化环境中指导工人进行飞机的装配工作。飞机数字化装配工艺的现场应用模式如图 5 所示。

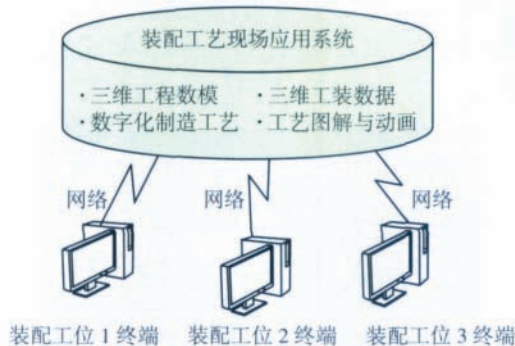


图5 飞机数字化装配工艺现场应用模式  
Fig.5 On-site application mode for aircraft digital assembly process

### 5.2 三维 AO 的构建

传统的 AO (Assembly Order) 即装配指令,是工艺部门根据工程设计的要求,和工厂现有的工艺水平及质量保证的要求,编写的指导生产的工艺文件<sup>[5]</sup>。随着 MBD 技术的深入发展,纸质工艺文件必将被数字化的工艺文件所取代。三维 AO 就是数字化的工艺文件,其内容包括产品设计信息、制造资源信息、工艺设计信息及工艺动画。

在该 MBD 制造模式下,通过三维数字化产品与工装协调建模及三维装配工艺仿真设计,在形成飞机装配工艺流程信息的同时,制作相应的飞机三维结构生产图解与多媒体装配过程动画,用于在装配工位现场指导装配。通过建立面向飞机 MBD 三维产品数据的装配工艺现场应用系统,以工艺活动为中心,将三维产品工程数据、三维工装资源数据、操作过程工艺图解和操作动画组织起来,完成三维 AO 的构建。其应用形式的系统界面如图 6 和图 7 所示。

在装配工作的准备与培训阶段,通过观看装配过程动画,可以使装配工人对整个装配工作有一个直观的了解,掌握装配工作的内容,包括装配对象、装配顺序、零件定位方法等。通过数字化装配应用终端,现场操作人

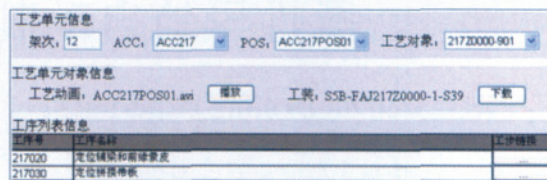


图6 三维AO应用形式(1)

Fig.6 Application form of three-dimensional AO (1)

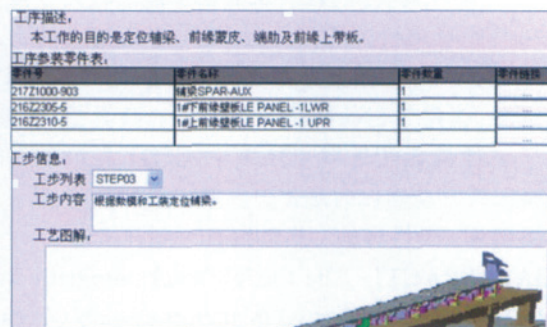


图7 三维AO应用形式(2)

Fig.7 Application form of three-dimensional AO (2)

员能够查询、浏览到装配工艺流程信息和操作过程工艺图解,以多媒体动画方式观看装配过程,对生产操作过程起直观的指导;同时,通过工艺信息中建立的链接,可以在数字化环境下游览 MBD 三维产品数据和 MBD 三维工装资源数据的轻量化模型,实现三维数字化工艺数据的生产现场应用。

## 6 结束语

MBD 技术的应用使三维实体模型成为制造过程中的唯一依据。工艺设计依据 MBD 三维模型,通过工艺方案设计和详细工艺设计,产生供装配现场应用的工艺信息。装配现场工艺可视化把工艺设计的结果以三维装配指令的形式传递到车间装配现场,改善了生产现场工作环境,使现场工人容易理解,减少了操作错误,从而提高了产品质量和生产效率,这必将推动我国飞机制造业的发展。

### 参考文献

- [1] 周秋忠,范玉青. MBD 技术在飞机制造中的应用. 航空维修与工程, 2008(3):55-57.
- [2] 梅中义. 基于 MBD 的飞机数字化装配技术. 航空制造技术, 2010(18):42-45.
- [3] 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.
- [4] 毕利文,秦龙刚,杨红宇. 面向现场的装配工艺可视化设计. 航空制造技术, 2009(2):103-105.
- [5] 吴东琦,朱文华,王琛,等. 飞机三维装配大纲技术的研究. 现代机械, 2010(1):45-48.

(责编 夏宛)