

基于模型定义的飞机装配工艺信息建模

靳江艳¹ 黄翔¹ 刘希平² 李泂杲¹

1. 南京航空航天大学, 南京, 210016 2. 成都飞机工业有限责任公司, 成都, 610091

摘要: 为了实现基于模型的定义技术在飞机装配工艺设计中的全面应用, 摆脱数字量和模拟量共存的数据传递局面, 建立了面向装配工艺设计的 MBD 模型。通过对飞机装配工艺设计过程进行分析, 将装配工艺信息分为装配工艺结构、工艺特征、附加工艺特征和工艺配套信息四类。根据信息构成不同, 为各类工艺信息定制有针对性的映射算子, 建立设计模型向装配工艺模型的映射关系。采用多视图的方法, 对装配工艺信息集成模型进行表示和管理, 并将其划分为核心层、工艺扩展层和应用层。最后, 利用开发的建模工具集建立了某机型舱门的装配工艺信息 MBD 模型。

关键词: 基于模型的定义; 飞机装配; 工艺信息; 建模; 工艺规划

中图分类号: TP391.7; V262.4

DOI: 10.3969/j.issn.1004-132X.2014.05.001

Model-based Definition Assembly Process Information Modeling for Aircrafts

Jin Jiangyan¹ Huang Xiang¹ Liu Xiping² Li Shuanggao¹

1. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016

2. Chengdu Aircraft Industrial Co., Ltd., Chengdu, 610091

Abstract: To realize the comprehensive application of MBD and get rid of the coexistence of digital quantity and analog quantity in aircraft assembly process planning, a MBD model oriented to assembly process planning was constructed. Through analysis of the aircraft assembly process planning, process informations were divided into four classes: assembly process structure, process features, added process features and supporting information. According to process constitution, the relative mapping operators were customized for all types of information to realize mapping from design model to process model. By multi-view method, all types of process information were represented and managed. And that the process model was divided into three layers: core layer, process extension layer and application layer. Finally, process information MBD model for cabin door was constructed.

Key words: model-based definition (MBD); aircraft assembly; process information; modeling; process planning

0 引言

随着数字化设计制造技术的发展及其在飞机研制过程中的应用, 基于模型的定义 (model-based definition, MBD) 技术已经成为飞机数字化设计制造的发展趋势。MBD 技术是指在三维模型中集成尺寸、公差等注释性标注, 同时辅以零件表等制造文件对产品进行全面描述的一种方式^[1-2]。它详细规定了三维实体模型中产品尺寸、公差的标注规则和工艺信息的表达方法。MBD 将三维实体模型作为生产制造过程中的唯一依据, 改变了传统以工程图纸为主, 以三维实体模型为辅的制造方法^[3]。

MBD 技术由波音公司提出, 并在 2003 年被 ASME 批准为机械产品工程模型的定义标准。目前, 国外的 MBD 技术应用已经比较深入, 波音

公司在以 B787 为代表的新机研制过程中, 全面采用了 MBD 技术, 将产品设计信息与制造信息共同定义在三维实体模型上, 摒弃了二维图纸, 直接使用 MBD 模型作为唯一的制造依据^[4]。在国内, MBD 技术在航空制造企业的应用逐渐展开。文献[5]针对二维工艺规划方法与上游的全三维数字化设计和下游的先进制造工艺及装备不相适应问题, 对基于 MBD 的飞机数字化工艺规划、验证和执行技术进行探讨, 提出了一种基于 MBD 的数字化制造与生产技术框架。文献[6]研究了 MBD 模式下装配工艺模型的设计技术, 提出轻量化三维装配工艺规程的生成方法。文献[7]给出了基于 MBD 的飞机数字化装配工艺设计及应用模式。上述研究主要针对基于 MBD 的飞机数字化工艺设计的框架、流程和应用模式方面进行探讨, 为 MBD 技术在航空企业的深化应用奠定了基础。

当前, MBD 技术在航空企业的应用还存在很

收稿日期: 2012-11-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51275234)

多问题:①企业的工艺设计虽然是在三维环境下进行的,但是一些工艺信息(如互换协调对象、工装申请信息等)仍然主要通过二维图样或文本的形式表示和发放,不能完全实现基于三维模型的数字量传递;②设计所发放的三维数字模型仅包含了部分工艺信息,通常仅作为注释说明,没有建立工艺信息与几何信息之间的关联;为了支持工艺规划,需要通过设计信息的提取、转化,并进行工艺描述补充,将设计数模转化为工艺数模;③基于三维设计模型的工艺信息获取,主要采用人工方式完成,效率低,易出错。

为此,针对某航空制造企业的具体需求,本文研究飞机装配工艺设计过程中的数字量转换和传递技术,提出面向飞机装配工艺设计过程的 MBD 模型及相应的工艺信息映射方法,并在某机型舱门装配工艺规划中进行应用验证。

1 飞机装配工艺信息 MBD 模型

1.1 飞机装配工艺设计描述

当前,企业的飞机装配工艺设计流程如图 1 所示。工艺设计是从收到正式发放的设计数据开始的。首先,根据企业实际生产状况,进行工艺分离面划分和装配单元划分,建立装配工艺树;然后进行详细的工艺规划,包括确定装配基准,制定装配协调方案,给出装配顺序,明确工序、工步组成、选择或设计工艺装备等内容,根据详细工艺规划的结果进行装配仿真验证,修正工艺规划方案,直至得到满意的仿真结果;最后,输出装配指令(AO),用于指导车间生产。

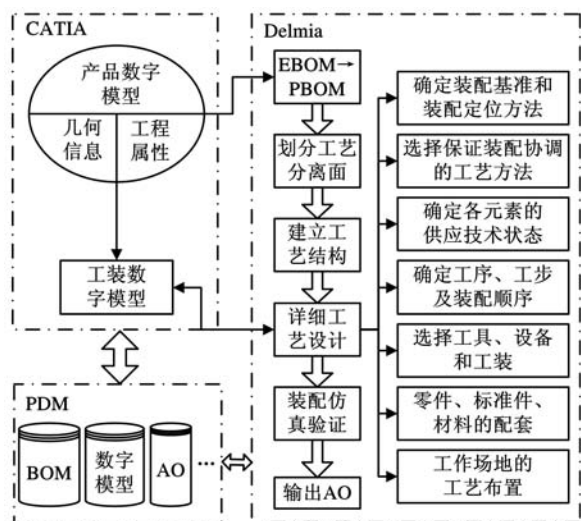


图 1 飞机装配工艺设计过程

在飞机装配工艺设计过程中,需要将一系列的工艺信息传递和发放至下游研制环节以指导后续的规划工作。通过分析飞机装配工艺设计过

程,并与企业工艺专家进行深入交流,本着协同设计的目的,对相关的工艺信息组成进行归纳,如图 2 所示。

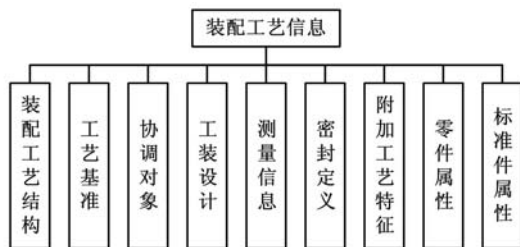


图 2 装配工艺信息

(1)装配工艺结构。装配工艺结构反映了构成飞机产品的零组件之间的隶属层次关系和装配先后次序,是装配工艺流程设计和工艺仿真的数据源。

(2)基准信息。基准是用于确定结构件之间相对位置的一些点、线、面。一部分由设计基准转化而来,一部分需要进行补充定义。

(3)工装信息。工装信息是针对某装配任务提出的工装设计要求,包括工装设计基准、布局信息、定位和夹紧信息、辅助信息。工装信息是装配工艺设计人员生成工装申请单及工装设计的数据源。

(4)协调信息。协调信息是对某装配协调方案所包含的协调部位、协调件(包括飞机结构件和工装)、对应的容差信息和协调关系的描述,是生成互换协调图表和进行容差分析的数据源。

(5)测量信息。在数字化环境下,采用测量设备完成飞机结构件和工装的安装和检测,测量信息是用于确定结构件或工装安装位置的一系列点、线或面。

(6)密封定义信息。密封信息包含了需要密封的零件名称、密封部位的描述、所采用的密封方式、密封材料等信息,密封信息的工艺化描述是建立密封定义描述与对应几何元素之间关联的前提,是为生产现场提供三维可视化密封定义信息的基础。

(7)工艺余量。为了补偿装配过程中的误差累积,有时需要将参与装配的零部件进行修配或进行装配后的精加工以满足装配协调要求,需要在蒙皮对缝、对接面、对接孔或叉耳侧面等部位留余量。设计数模是产品的最终几何状态,不包括余量,但是参与装配的零件是带余量的,因此,应给出带余量的产品数模以指导装配工艺规划和仿真。

(8)零部件和标准件的名称、数量、材料等属性信息。它们属于需要工艺发放的配套信息,以

往工艺配套文档主要通过手工录入生成,效率低,易出错。

1.2 装配工艺信息 MBD 模型

图 2 所示的装配工艺信息,根据信息的表现形式可分为装配工艺结构、工艺特征、附加工艺特征和工艺配套信息四类。参考相关国际和国家标准,采用 MBD 表示方法,面向装配工艺设计过程建立的装配工艺信息 MBD 模型如图 3 所示。



图 3 装配工艺 MBD 模型信息构成

装配工艺信息 MBD 模型由产品设计模型、装配工艺信息集成模型和其他工艺属性三部分组成。装配工艺信息 MBD 模型可表示为

$$M = M_d \cup M_p \cup A_m \quad (1)$$

式中, M_d 为设计所发放的设计模型, 是进行装配工艺规划的唯一依据; M_p 为装配工艺信息集成模型, 用于辅助装配工艺规划, 是对设计模型进行提取、转化和补充的结果; A_m 为其他工艺属性信息, 如工艺版次、更改说明等。

装配工艺信息集成模型可表示为

$$M_p = S_p \cup F_p \cup F_a \cup S_s \quad (2)$$

式中, S_p 为装配工艺结构, 是对装配单元划分结果和装配顺序的表示; F_p 为装配工艺特征集, 包括装配基准、协调特征描述、工装申请信息等工艺特征集合; F_a 为附加工艺特征集, 是装配工艺余量特征的集合; S_s 为配套信息, 是对生产所需的零件和标准件的供应信息的描述。

(1) 装配工艺结构是对产品设计树进行装配单元划分和装配顺序规划的结果, 表达了飞机产品按工艺分离面划分的结构件装配层次和先后次序。其表达式为

$$S_p = \{P, R\} \quad (3)$$

$$P = \{p_{11}, p_{21}, \dots, p_{2x}, \dots, p_{m1}, \dots, p_{mm}\}$$

$$R = \{\langle f, c \rangle \mid f, c \in P\}$$

式中, P 为参与装配的广义零件集合; p_{ij} 为按装配顺序表示的第 i 层的第 j 个装配单元或零件; m 为装配工艺结构树的深度; n 为装配工艺结构第 m 层的零件数量; R 为装配体的隶属层次关系集合; f 为 c 的父节点。

(2) 装配工艺特征集是对工艺基准、互换协调对象、工装申请信息、测量对象以及密封定义等关键数据的结构化定义和表示。其表达式为

$$F_p = F_d \cup F_c \cup F_t \cup F_m \cup F_s \quad (4)$$

$$F_p = \{f_i^{(p)} \mid f_i^{(p)} = \sum_{j=1}^p g_j^i \cup \sum_{k=1}^q A_{nk}^i \cup \sum_{l=1}^r A_{tl}^i, i \in [1, m_p]\} \quad (5)$$

式中, F_d, F_c, F_t, F_m, F_s 分别为基准集、协调集、工装集、测量集和密封集; $f_i^{(p)}$ 为第 i 个工艺特征; g_j^i 为构成 $f_i^{(p)}$ 的第 j 个几何元素, 包括基本几何元素点、线、面或由基本几何元素创建的几何区域; A_{nk}^i 为 $f_i^{(p)}$ 的第 k 个标注信息, 包括尺寸及公差、形位公差和注释等; A_{tl}^i 为 $f_i^{(p)}$ 的第 l 个工艺属性描述, 包括 $f_i^{(p)}$ 的编号、所在零件和装配单元编号、功能描述和其他工艺属性等; m_p 为 $f_i^{(p)}$ 的数量。

各类工艺特征的几何元素和标注信息的表达方式以及内容是相似的, 但工艺属性描述稍有不同, 它除均包含特征编号、所在零件和装配单元编号的属性项之外, 其余项属性描述都存在一些差异, 具体为: ① 基准特征的工艺属性还包含功能描述及采用的定位方法; ② 工装特征的工艺属性应说明该特征是哪类工装结构件(包括设计基准、定位器、夹紧装置、骨架和辅助设备)的设计依据, 并对工装结构件的具体功能进行说明; ③ 协调特征的工艺属性应说明该特征是属于零件的协调特征还是装配单元的协调特征; ④ 测量特征的工艺属性还包含测量要求、测量方法和测量设备等; ⑤ 密封特征的工艺属性还包含密封标准、密封类型和密封材料牌号等。

(3) 附加工艺特征集是基于设计数模的工艺实体特征集合, 由控制几何和附加特征两部分组成。其表达式为

$$F_a = \{f_i^{(a)} \mid f_i^{(a)} = \sum_{j=1}^p c_j^i \cup \sum_{k=1}^q a_k^i, i \in [1, m_a]\} \quad (6)$$

式中, $f_i^{(a)}$ 为第 i 个附加工艺特征; c_j^i 为构成 $f_i^{(a)}$ 的第 j 个控制几何元素, 包括由设计数模上提取和补充的点、线、面等几何元素, 作为附件特征的建模基准; a_k^i 为构成 $f_i^{(a)}$ 的第 k 个附加几何特征; m_a 为 $f_i^{(a)}$ 的数量。

(4) 配套信息主要指零件编号、名称、数量、材料牌号、毛料尺寸和材料规范以及标准件的牌号、名称和数量。

2 设计信息向装配工艺信息的映射

构成装配工艺信息集成模型的信息是异构的, 每一类信息均有各自的表达形式和存储模式。因此, 为每一类信息定制有针对性的映射算子, 是实现产品设计模型到装配工艺模型映射的前提。

2.1 装配工艺结构生成

装配工艺结构生成是在产品设计结构基础上进行的, 其生成过程可描述为

$$S_p = F^{(s)} F^{(w)} (S_d) \quad (7)$$

$$S_d = (M_d, R_d)$$

式中, (S_d) 为产品设计结构, 可表示为设计数模 (M_d) 、零部件之间装配层次和连接关系 (R_d) 的二元组; $F^{(w)}$ 为装配单元划分算子; $F^{(s)}$ 为装配顺序规划算子。

2.1.1 装配单元划分

考虑装配连接关系、装配工艺性能(开敞性、装配体的工艺刚度等)、装配的复杂程度和装配工作的并行性等工艺知识,进行装配单元划分的步骤如下:

(1) 装配信息提取和表示。基于三维设计模型和工艺人员的经验,采用自动提取和手动补充相结合的方式提取零件之间的连接方式、形位关系等装配信息,并将提取的信息进行计算机表示。

(2) 智能计算和优化。考虑装配单元的装配复杂性(用装配操作换向次数和装配工具改变次数进行表示)和装配单元之间的工作并行性(装配复杂程度的一致性),采用智能算法进行计算和优化,得到装配工艺划分结果^[8]。

(3) 由工艺人员根据企业实际情况和经验对生成的结果进行适应性调整。

2.1.2 装配顺序规划

在装配单元划分的基础上,按照自上而下的方式规划装配顺序,即首先规划装配单元之间的装配顺序,然后规划构成每个装配单元的零件之间的装配顺序,规划步骤如下:

(1) 装配干涉信息提取和表示。为了简化运算,沿三个坐标轴方向判断零件之间的干涉情况,并将提取的信息进行计算机表示。

(2) 智能计算和优化,根据零件之间的装配连接定义、方向和位置关系,计算每个装配顺序规划结果的装配换向次数和装配工具更换次数,次数最少者为最优结果。

(3) 由工艺人员根据企业实际情况和经验对生成的规划结果进行适应性调整。

将装配单元划分和顺序规划的结果进行综合表示(采用树形结构),即可得到装配工艺结构。

2.2 工艺特征映射

各类工艺特征具有相同的结构组成,包括几何元素、标注信息和工艺属性描述三部分。其中,几何元素和标注信息基于三维设计模型,采用特征抽取的方式获得,工艺属性描述通过手工方式添加。设计特征到工艺特征的映射可描述为

$$f^{(p)} = F^{(p)}(F, A_d) \quad (8)$$

式中, $f^{(p)}$ 为一个工艺特征; F 为产品的典型结构形状(部位或特征); A_d 为 F 对应的标注信息,包括尺寸、公差和注释; $F^{(p)}$ 为工艺特征映射算子。

工艺特征映射过程如下:

(1) 特征提取。根据具体工艺需求提取几何要素及其标注信息,几何要素是三维几何模型上

完整边界元素或边界元素的局部,完整元素可直接抽取,局部元素通过设置控制元素(点、线或面)对需要的几何元素进行分割、裁剪和拟合操作完成特征抽取^[9]。

(2) 工艺描述添加。通过人机交互方式完成。

(3) 工艺特征建模。是指将几何要素、标注信息和工艺描述信息进行整合与关联而建立的工艺特征模型。

2.3 附加工艺特征创建

附加工艺特征采用基于模板的方式创建。余量特征模板封装了造型系统中已有的形状特征和造型方法,并将具有工程意义的约束和参数以接口的形式提供给设计者。附加工艺特征的创建过程包括控制几何提取和基于控制几何的特征实例化建模。其过程可表示为

$$f^{(a)} = F^{(a)}(F, T_a) \quad (9)$$

式中, $f^{(a)}$ 为一个附加工艺特征; T_a 为余量特征模板; $F^{(a)}$ 为附加特征映射算子。

附加特征映射步骤如下:

(1) 控制几何提取。控制几何为需要创建余量的几何要素,采用与工艺特征映射相同的特征抽取方式自动提取。

(2) 附加特征实例化。包括特征定位、参数驱动和约束检查等步骤。

2.4 配套信息生成

零件和标准件相关信息通常需要生成工艺文档,生成过程可描述为

$$S_s = F^{(su)}(S_d) \quad (10)$$

式中, S_s 为配套信息; $F^{(su)}$ 为配套信息生成算子。

配套信息生成步骤如下:

(1) 信息提取。提取注释在产品树上的零件和标准件信息。

(2) 工艺文件生成。将提取的零件和标准件信息分别导出为规定格式的文档。

3 装配工艺信息集成模型的表示与管理

如前所述,构成装配工艺信息集成模型的信息均有各自的表达形式和存储模式。如果将所有的信息直接表示在设计数模对应的结构件上,就不能清晰地表达工艺内容,从而给工艺人员构建和使用装配工艺信息 MBD 模型带来很大不便,因此,要求集成模型能够按照信息类型进行显示。采用“多视图”的方法表示集成模型,将每一类工艺信息表示为一个工艺视图,工艺视图下可以再划分子视图用于表示更详细的工艺信息。这种方

式可以仅显示与当前工艺工作相关的信息,为工艺人员提供了更加简洁、清晰的模型建立和使用环境。

(1)装配工艺结构不直接表示在三维模型的设计树上,利用建模工具构建信息描述窗口,以树形结构形式表示。同时建立装配工艺树节点与三维模型的协同机制,实现装配工艺结构与三维模型之间的关联显示。

(2)工艺特征和附加工艺特征是功能性特征,描述了需要传递或发放给其他工艺环节或研制阶段的几何信息、三维标注和工艺属性。几何信息是非几何信息的载体,位于装配工艺结构对应的零件上;标注和属性信息与对应的几何信息及其所在的零部件紧密关联。结合装配工艺树,实现基于三维模型的工艺信息表达和显示。

(3)配套信息一般不直接表示在三维模型上,可通过信息显示窗口浏览和导出规定文档。

视图主要根据工艺信息的类型进行划分,为了清晰、完整地表达装配工艺信息 MBD 模型,将其分为核心层、工艺扩展层和应用层,如图 4 所示。

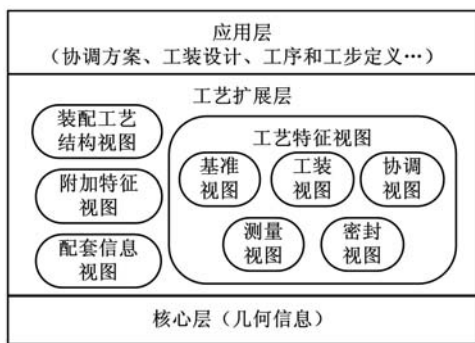


图 4 装配工艺信息 MBD 模型框架示意

核心层是由构成装配工艺信息 MBD 模型的几何信息组成的,是尺寸、公差、注释和工艺属性描述等非几何信息的载体。

工艺扩展层是核心层所包含信息的工艺化描述,是对尺寸、公差、注释和工艺属性等信息的记录和表达,是核心层与应用层之间的信息桥梁。

应用层是基于装配工艺信息 MBD 模型,面向后续生产阶段的专业化应用,如根据装配顺序和装配连接定义进行工序制定;提取工装申请信息用于指导工装设计;基于基准、协调特征和工装特征,结合装配顺序可生成初步协调方案。应用层信息一般不记录在 MBD 模型上,而是通过关联设计,用其他方式进行显示。

飞机设计从预发放到产品定型之间工程更改频繁,为了保持产品模型的一致性,工艺设计必须

及时做出相应更改。在装配工艺 MBD 模型中,设计模型与装配工艺信息集成模型之间本质上是引用关系,其包含两个层次,一层是工艺模型对设计模型的引用,在工艺模型建立之初,首先通过“工程管理”构建三维设计模型与工艺模型之间的链接关系,并保存在产品数据管理系统中;另一层是工艺信息对设计特征(包括几何特征和非几何特征)的引用,是一种直接引用关系,包含在工艺模型创建的过程中,因此,工艺信息与对应的设计特征之间具有必然的联系。

面向设计更改的工艺模型更改机制如图 5 所示。将工艺模型的更改分为零件级更改和特征级更改。零件级更改是零部件的删除、增加或结构改变导致的工艺信息的重新获取。当零部件被删除或结构改变时,其所对应的工艺信息一并被删除,通过设计模型与工艺模型之间的链接关系,在企业产品数据管理系统中实现对应工艺信息的删除,当装配工艺信息 MBD 模型重新加载时,呈现的是更改后的模型。对于新增的零部件,通过“工程管理”建立的设计模型与工艺模型之间的链接关系,当装配工艺信息 MBD 模型重新加载时,新增加的零部件可随之自动加载,基于新增零部件的工艺信息描述需要用户利用工艺模型建模工具完成。特征级更改是设计特征的位置和尺寸修改后导致的对应工艺信息的变更。由于工艺信息是对设计特征的直接引用,二者之间紧密关联,如果对应的工艺属性描述不需要做出更改,则工艺信息对设计特征更改具有自适应功能;如果对应的工艺属性描述需要做出更改,则需要用户通过建模工具完成。

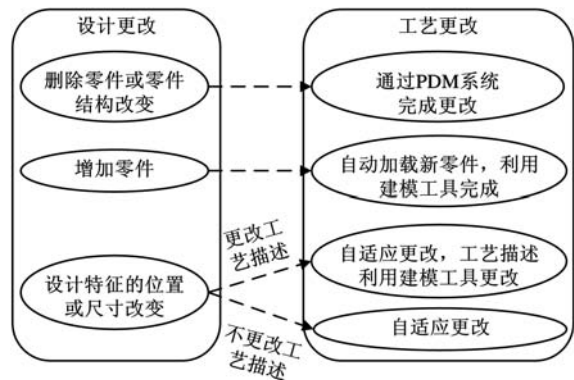


图 5 面向设计更改的工艺模型更改机制

由于工艺特征的创建是一个人机交互的过程,当出现新增零件和工艺描述需要更改时,还不能完全实现动态化,建立更完善的设计—工艺协同机制是下一步的研究方向和重点。

4 建模实例

为平台,采用 CAA 工具开发了“飞机装配工艺信息建模”原型系统,如图 6 所示。

采用上述建模方法和技术,以 CATIA 系统

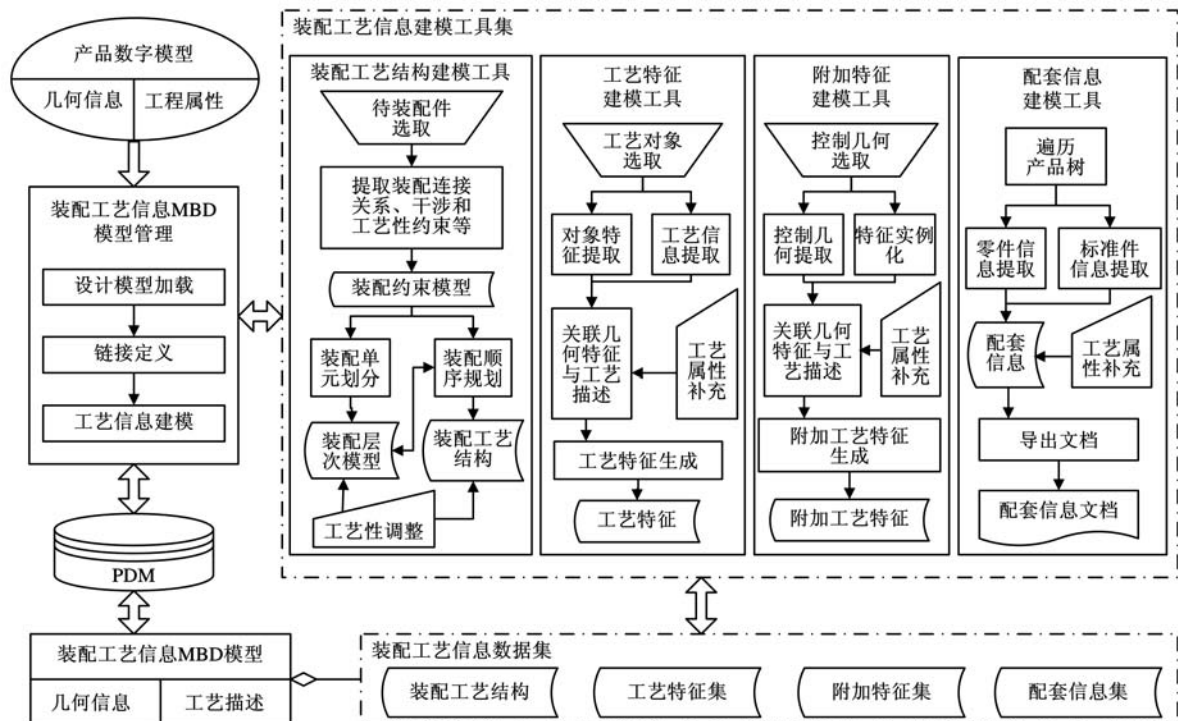


图 6 飞机装配工艺信息建模系统处理框架

某机型舱门主体结构如图 7 所示,应用图 6 系统,建立舱门主体结构的装配工艺信息 MBD 模型。详细建模过程描述如下:

(1)首先将产品设计数模导入系统,建立设计模型与工艺模型之间的链接关系。

(2)按照图 6 所示的建模流程,进行飞机舱门装配规划,生成的装配工艺结构为:舱门骨架(上口框、下口框、前侧边框、后侧边框、1 号纵梁、短梁、3~11 号纵梁)、蒙皮。其模型以树形结构显示,如图 8 所示。

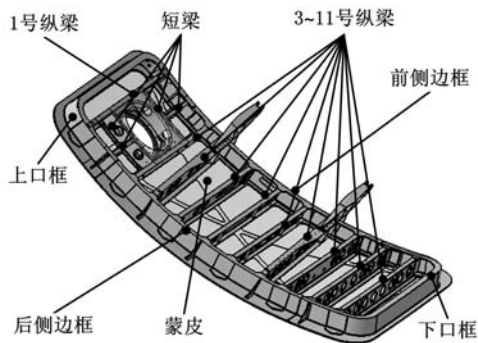


图 7 某机型舱门主体结构组成

(3)以上口框对应的工装特征建模为例说明工艺特征的创建过程。根据上口框在装配过程中的定位要求,需要为其设计外形块和 Z 向定位

器,图 8 所示为工装定位器设计需要参考的特征,用户选取该特征,自动提取该特征及其标注和属性信息,输入参考该特征设计的工装结构件的功能描述,自动建立工艺属性描述与几何特征之间的链接关系,生成工艺特征。工艺特征同时添加为装配结构树上特征所在零件节点的子节点。由图 8 可以看出,工艺几何特征与非几何信息是紧密关联的,选中工艺特征时,对应的设计几何高亮显示,并可在小窗口中显示特征所在的零件模型。

(4)根据企业具体需求,建立较完备的附加工艺特征模板库,通过基于控制几何的特征实例化完成设计。

(5)提取产品树上的零件名称、编号、材料以及标准件的牌号、名称和数量等信息。借助产品数据管理导出配套信息发放文档。

综上所述,即利用建模工具可构建以装配工艺结构视图、工艺特征视图、附加特征视图和配套信息视图为主的分类工艺信息视图。以三维数字模型为载体,装配工艺结构为主模型,对其他工艺信息进行结构化定义,采用数字模型和工艺信息数据集协同表示和管理的装配工艺信息 MBD 模型如图 8 所示。

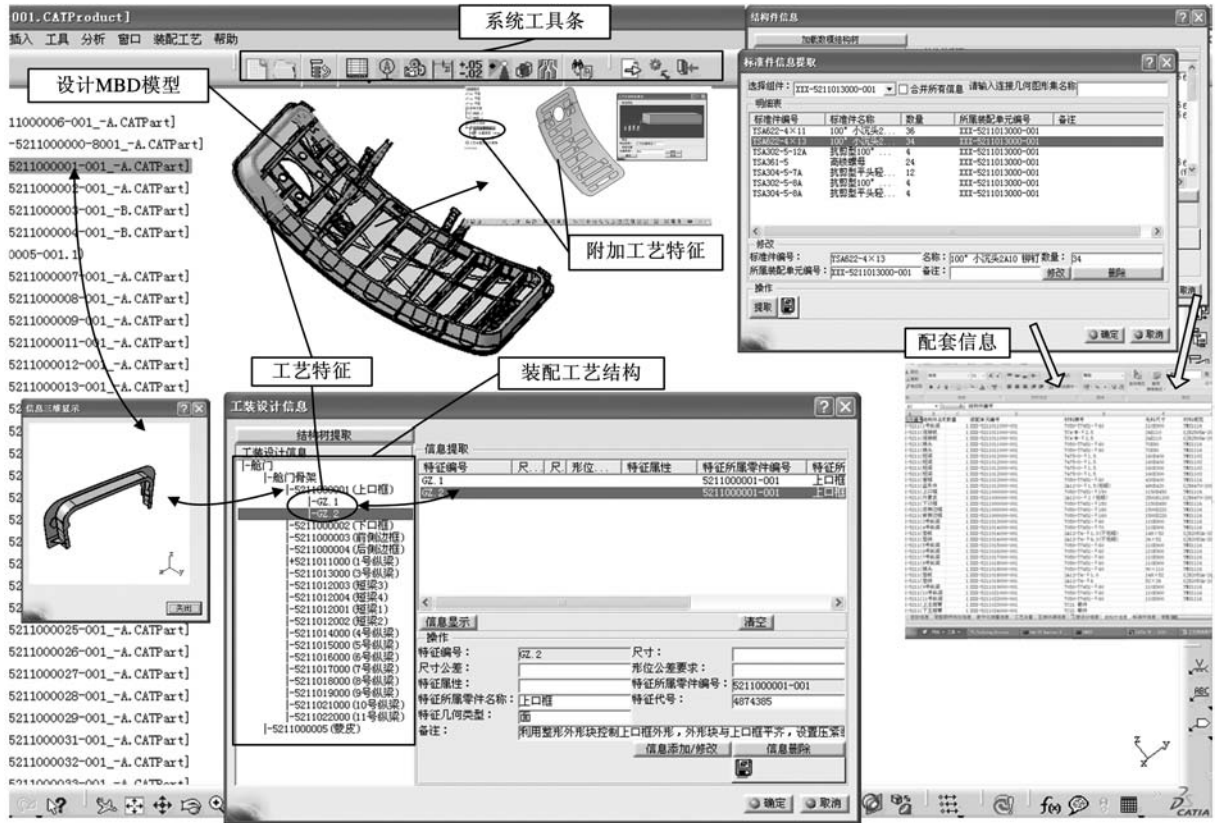


图8 飞机舱门装配工艺信息 MBD 模型

5 结束语

装配工艺信息 MBD 模型是对飞机装配工艺设计过程中涉及的异构信息的数字化和规范化表示,针对异构的工艺信息定制了有针对性的映射算子,将产品设计数模转换为工艺数模,并采用多视图方法对生成的工艺信息进行统一表达和管理。装配工艺信息 MBD 模型实现了工艺信息在装配工艺设计各个阶段的数字化传递和共享,建立了基于数字量传递的飞机装配工艺规划模式,为产品设计、工艺规划及其后续工作环节的数字化协同设计奠定了基础。随着 MBD 技术的深化应用,构建详细工艺规划模型,对装配工序、工步等信息进行数字化和规范化描述,同时建立更完善的基于成熟度的模型发放和更改等协同机制将是下一步的研究方向和重点。

参考文献:

[1] Quintana V, Rivest L, Pellerin R, et al. Will Model-based Definition Replace Engineering Drawings Throughout the Product Lifecycle? A Global Perspective From Aerospace Industry[J]. Computers in Industry, 2010, 61: 497-508.

[2] 卢鹤, 韩爽, 范玉青. 基于模型的数字化定义技术[J]. 航空制造技术, 2008(3): 78-81.

Lu Hu, Han Shuang, Fan Yuqing. Model Based Dig-

ital Definition Technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008(3): 78-81.

[3] 周秋忠, 范玉青. MBD 技术在飞机制造中的应用[J]. 航空维修与工程, 2008(3): 55-57.

Zhou Qiuzhong, Fan Yuqing. Application of MBD Airplane Manufacturing[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2008(3): 55-57.

[4] 余志强, 陈嵩, 孙炜, 等. 基于 MBD 的三维数模在飞机制造过程中的应用[J]. 航空制造技术(年度论坛), 2009(25): 82-85.

Yu Zhiqiang, Chen Song, Sun Wei, et al. Application of MBD-based Three-dimensional Module in Aircraft Manufacturing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(25): 82-85.

[5] 罗伟, 童秉枢. 基于模型定义的飞机数字化工艺规划、验证及执行技术[J]. 航空制造技术, 2010(18): 73-76.

Luo Wei, Tong Bingshu. Model Based Technology of Aircraft Process Planning, Verification and Execution[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2010(18): 73-76.

[6] 冯廷廷, 金霞, 王珉, 等. 基于 MBD 的飞机装配工艺模型设计[J]. 航空制造技术, 2010(24): 95-98.

Feng Tingting, Jin Xia, Wang Min, et al. MBD-based Model Design for Aircraft Assembly Process[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2010(24): 95-98.

渐开线少齿差行星传动的变形协调设计

李俊阳 王家序 周广武 肖 科

重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆, 400044

摘要:针对渐开线少齿差行星传动,提出了一种变形协调设计方法,包括多层材料复合的齿轮本体设计、弹性层的材料选择及结构设计、考虑弹性材料变形的齿轮无侧隙啮合中心距设计计算公式。在此基础上设计制造了一种滤波传动装置,并与相同结构形式及规格的普通行星减速器进行了传动性能的对比仿真分析与实验,结果表明滤波减速器的空程回差、润滑及动力学特性都有了较为明显的改善。

关键词:行星传动;变形协调设计;无侧隙;润滑

中图分类号:TH132.413

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2014.05.002

Deformation and Compatibility Design of Involute Planetary Gear Drive with Small Teeth Difference

Li Junyang Wang Jiayu Zhou Guangwu Xiao Ke

State Key Laboratory of Transmission, Chongqing University, Chongqing, 400044

Abstract: Aiming at involute planetary gear drive with small teeth difference, a design method of deformation and compatibility was proposed, including design of composite gear with multilayer material, material selection and structure design of the elastic layer, and the design formulas for center distance of gear with backlash-free where the deformation of elastic material was considered. On the basis of this method, a filter transmission device was designed and manufactured. The comparative analyses and experiments with the normal planetary transmission driver which had the same structure and specifications was also conducted. The results suggest that filtering gear driver's backlash, lubrication and kinetic characteristics are improved obviously.

Key words: planetary transmission; deformation and compatibility design; backlash-free; lubrication

0 引言

在工业机器人、空间飞行器等特殊领域,传动装置在需具备高精度、高效率、高可靠等优异性能的同时,其体积及质量也有严格要求。目前较为常用的有谐波传动、摆线针轮传动以及少齿差行星传动。其中应用较为普遍的谐波传动具有传动

比大、结构简单、传动精度高等优点,但是也存在承载能力不足、柔轮及柔性轴承容易疲劳破坏等缺点^[1]。摆线针轮传动具有高精度、高效率、承载能力强等优点,但是其结构复杂,体积与质量都相对较大^[2]。与上述二者相比,少齿差行星传动在传动效率、承载能力、体积及质量等方面有较大优势,但是由于其啮合齿对较少(一般为 1~3 对),其传动回差对齿形误差较为敏感且很难得到有效控制,因此不适用于传动精度要求较高的场合。针对这一问题,国内外学者从加工工艺^[3]、结构形

收稿日期:2012-08-16

基金项目:重庆市“两江学者”计划专项经费资助项目;国家自然科学基金资助项目(50905189);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(CDJXS11111137)

[7] 郭具涛,梅中义.基于 MBD 的飞机数字化装配工艺设计及应用[J].航空制造技术,2011(22):74-77.

Guo Jutao, Mei Zhongyi. Design and Application of MBD-based Aircraft Digital Assembly Process[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011(22): 74-77.

[8] 靳江艳,黄翔,刘希平,等.基于广义装配关系的复杂产品装配单元划分方法[J].南京航空航天大学学报,2012,44(1):50-55.

Jin Jiangyan, Huang Xiang, Liu Xiping, et al. Assembly Unit Partition for Complex Product Based on Generalized Assembly Relationship[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2012, 44(1): 50-55.

[9] 郑国磊,李文杰,王自军.某大型飞机舱门框工艺标准数字模型[J].航空学报,2010,31(8):1674-1679.

Zheng Guolei, Li Wenjie, Wang Zijun. Digital Technology Standard Model of Door Frame for a Large Aircraft[J]. Acta Aeronauticae Astronautica Sinica, 2010, 31(8): 1674-1679.

(编辑 何成根)

作者简介:靳江艳,女,1977年生。南京航空航天大学机电学院博士研究生。主要研究方向为飞机数字化设计与制造、制造业信息化。发表论文3篇。黄翔,男,1963年生。南京航空航天大学机电学院教授、博士研究生导师。刘希平,男,1970年生。成都飞机工业有限责任公司制造工程部工程师。李沈果,男,1978年生。南京航空航天大学机电学院副教授。