

飞机零部件产品的三维工艺设计

Three-Dimensional Process Design of Large Complex Mechanical Product

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 冯子明



冯子明

现任中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司副总工程师。是中航工业首席技术专家和信息化专家。2006年被授予“国防科技工业有突出贡献中青年专家”荣誉称号,2007年获得国务院的政府特殊津贴。获得15项科技成果奖和优秀信息化主管奖,2项发明专利。

我国航空制造业数字化技术的发展历程,主要是围绕着设计、制造和生产管理3个主线方向推进。典型模式一般是产品设计以CAD/CAE/PDM等系统为主线,制造以CAD/CAPP/PDM等系统为主线,生产管理以MES/ERP/CRM/SCM等系统为主线。近10年来,我国航空制造业在上述3方面的数字化建设上取得了巨大的成绩。

近年来基于二维(图纸)信息表达与传递方式正在被基于模型的设计方式所取代,产品设计已经全面采

用基于模型的设计,使几何信息和非几何信息全部表达在三维模型上,不再需要进行二维非几何信息的补充表述。但是生产制造方面却显不足,主要是由于产品三维设计与二维化制造的不匹配所致。由于三维工艺设计技术的开发和应用远落后于三维产品设计技术,使得三维工艺设计成为产品制造的瓶颈。

用基于模型的设计,使几何信息和非几何信息全部表达在三维模型上,不再需要进行二维非几何信息的补充表述。但是生产制造方面却显不足,主要是由于产品三维设计与二维化制造的不匹配所致。由于三维工艺设计技术的开发和应用远落后于三维产品设计技术,使得三维工艺设计成为产品制造的瓶颈。

飞机三维制造模式

综合国内外制造技术发展状况,可以发现,传统制造方式正在被三维制造方式逐步取代,三维制造方式与传统制造方式相比具有很大的优势:(1)化解了传统CAPP系统与三维CAD系统工作模式的矛盾;(2)三维工艺信息可直接支持可视化生产过程。三维工艺信息完全代替了传统意义上的工艺文件、技术参数和技术规范的查询不再是一个流程,而变成一个操作,可以方便的在生产终端上对工艺规程进行查询,观察模型状态,获取技术规范等。三维工艺信息

的发布和使用使得三维产品模型被直接应用于研制过程的各个阶段,三维模型成为设计与制造的唯一依据。是三维制造方式与传统制造方式的主要区别。如图1所示。

1 MBD技术应用现状

在三维制造方面,国外一些飞机制造企业多年来已经发展了开创性的技术和系统。美国于1997年在波音公司的协助下开始了有关基于模型定义(Model Based Definition, MBD)标准的研究和制定工作,其主导思想不只是简单地将二维图纸的信息反映到三维模型中,而是充分利用三维模型所具备的表现力,去探索便于用户理解且更具效率的设计信息表达方式。它用集成的三维数模完整地表达了产品定义信息,详细规定了三维数模中产品尺寸、公差、标注规则和工艺信息的表达方法。MBD使三维数模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、以三维实体模型数模为辅的制造方法^[1]。

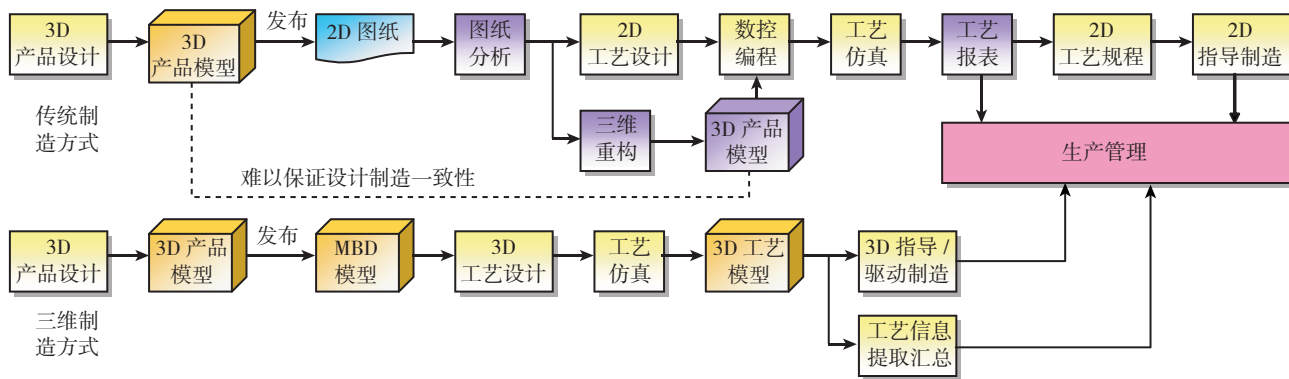


图1 三维制造方式与传统制造方式的主要区别

MBD模型分为零件与装配模型，零件模型由几何信息和非几何信息组成。属性数据表达了产品信息，注释数据包含了工艺信息。装配模型则由一系列MBD零件模型加上属性和注释数据组成。近10余年，以波音787为代表的新型客机研制过程中，全面采用了MBD技术，建立了三维数字化设计制造一体化集成应用体系。国内飞机制造业也已建立了有关基于模型定义的设计标准，同时也开发了基于模型定义的各类数据库管理系统和快速定义工具，并与设计环境集成，形成了较为完善的设计体系和设计与管理的计算机支撑环境。

2 国内MBD技术应用存在的问题

在飞机研制模式上，急需建立以全三维模型为依据的完整的三维制造体系。任何复杂产品制造都离不开工艺设计，工艺设计是将产品设计转变为产品的中间环节，是将产品由模型转变为实物的桥梁。但是，目前工艺设计方法落后于产品设计方法，基本上还是以二维信息表述为主的方式，或者是进入二维/三维混合信息表述的设计方式，无法适应基于模型定义的设计技术发展和数字化制造技术的发展^[2]。因此，急需创建基于模型的工艺设计方法和信息系统，实现设计模型向工艺模型转换，信息关联的直观描述及现场三维可视化应用，使飞机制造进入向全三维设计制造时代。同时应加强基于模型的制造标准体系

研究，形成以工艺设计、生产应用及检测三方面内容为主的数字化标准，支撑多厂所联合研制模式^[3-4]。

三维工艺设计理念与方法

目前飞机产品数模尚无法高效的支持数字化工艺设计和产品制造过程，其三维工艺设计、辅助制造和管理规范还有待研究和完善^[2]，为使三维数模应用贯穿整个飞机研制过程，三维工艺设计成为连接工程域和制造域的纽带。三维工艺设计应该是以产品全三维模型为对象，在其基础上建立工艺模型，进行详细工艺设计，使工艺设计信息不仅完全以三维模型的方式表达，还要求操作内容能够与模型关联表达，使操作者能够非常直观的了解设计意图和要求。

详细工艺设计，也就是工艺规程编制。主要为：建立工艺模型，如零件毛坯模型、工序模型、工艺状态模型、重构的装配模型等几何信息模型；添加工艺标注信息，如定位基准、关键尺寸、技术要求等非几何信息；制定工艺流程，既在模型上创建零件的加工流程，如粗加工、精加工、热处理、表面处理等；编写操作技术要求和资源配置，如用某工装和刀具按某技术标准加工某部位等等，将内容与模型建立关联关系。

1 设计模型的使用与再设计

工艺模型中的信息一部分来自于产品模型，一部分来自于企业已有的制造资源数据库，还有一部分是为

支持工艺技术表述而创建的，但这些信息与产品模型都有数据衍生联系，并且这些信息之间也相互关联。每个三维工艺模型的信息体系定义一个产品或产品部件。产品界面零件被用来构建各设计零件的关联关系。为了支持后续工作，三维工艺模型包含的内容可分为工程描述类内容(产品几何模型和PMI信息)、管理类内容(标识和构型)和工艺类内容。其中，工艺类内容需要根据制造企业具体能力进一步细化，这些内容需要从产品设计模型中继承、转化和衍生^[5]。产品模型成为工艺模型的唯一数据源头。

2 三维工艺BOM重构

飞机产品的工艺设计应由顶向下进行，既先进行总体规划，再进行详细设计。总体规划主要为装配顺序规划，将产品的EBOM转化为制造的MBOM，同时进行关键零部件交付状态、检测方案、装配基准、零件加工基准等规划，将这些信息标注在模型中，形成工艺模型与工艺结构树的主干和枝条。详细装配工艺设计主要进行资源配置和仿真，调整完善装配顺序规划，进而制定装配大纲等；而零件工艺是在总体规划下进行的工艺设计，完成工序模型创建、工艺标注和资源配置，形成工艺结构树的叶子。因此，工艺的总体规划设计是后续工艺工作的基础，工艺模型的建立和工艺结构树管理是三维工艺设计的基础，三维工艺BOM重构示意

见图2。

3 工艺信息的表达

传统的工艺表达方式是用三维实体模型来描述飞机零件的几何形状信息、用二维的工程图纸来定义尺寸、公差和工艺信息。三维工艺模型的定义方法使三维实体模型成为生产制造过程中的唯一标准。工艺信息以不同的表达方式被产品设计、工艺设计、工装设计、产品制造和检验检测等各环节的不同角色所使用。如图3所示。

工艺模型的所有信息以工艺结构树组织在一起,工艺结构树的下一

级为工序节点,工序节点的下一级为工序模型、工序资源、工序标注等等。对于整个零部件的管理类、物理类属性以静态信息面板表达,视图位置可以按习惯定制。制造类、状态类属性以动态信息面板和旗注表达,同时根据企业标准要求将全部非几何信息以参数形式组织,以备结构化输出。几何信息以工序模型的形式表达为三维模型,与具体工序关联。

4 工艺信息的发布与集成应用

三维产品制造信息的发布主要有两方面内容:一个是工艺模型的输出,另一个是工艺表单的输出。根

据企业数字化制造的软硬件环境条件,有些工艺模型需要轻量化处理,有些不需要,如对于装配工艺模型,生产中只需要可视化模型的相互关系,表示工艺BOM的结构状况,零件之间的安装关系,连接件数量和形式即可,但它的实体模型比较大,计算机处理速度较慢,可以轻量化处理。对于零件工艺模型,生产中需要看到又比较小,也可以直接发布到生产现场。在制造企业内一般需要将三维工艺设计系统与制造执行系统、产品数据管理系统和业务过程管理系统等集成,整个过程中的3D工艺文

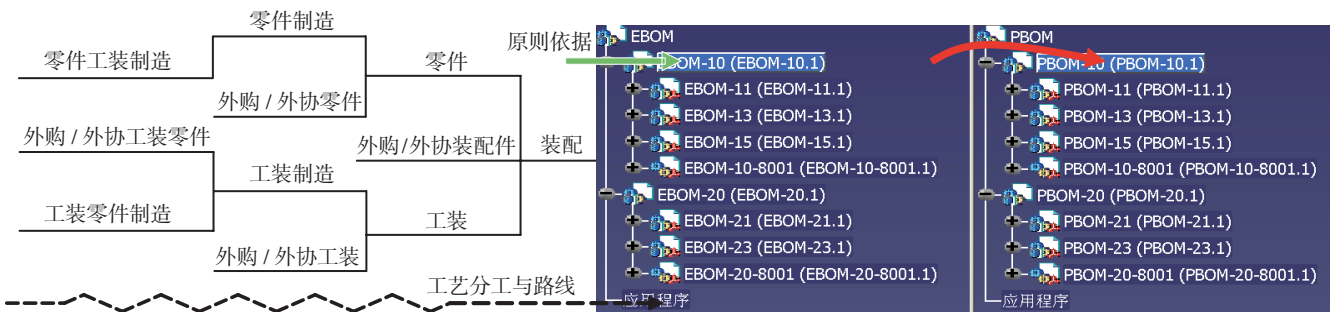


图2 三维工艺BOM重构

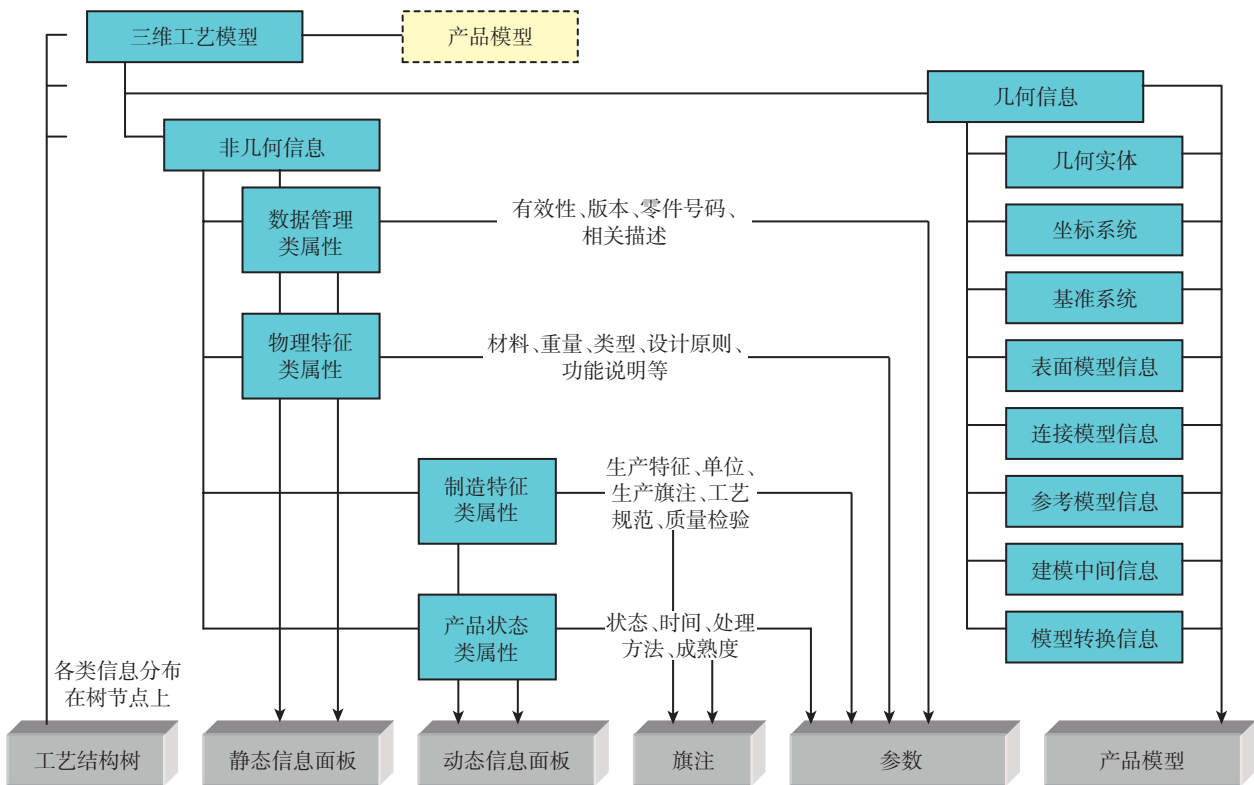


图3 三维工艺模型的表达

件/工艺表单一般发布于企业 PDM 系统中,再由 PDM 系统向生产系统提供支持(图 5)。

三维工艺系统架构

综上所述,三维工艺系统在工艺 BOM 构建、工艺设计和表达、发布与集成应用的基础上,还需要考虑企业集成应用的需求和数据管理的需求,才能够建立开放、灵活的系统架构。

1 企业系统集成应用对工艺系统的要求

可将工艺系统看成是一个黑匣子,它只是一个设计工具,其输入为本企业 PDM 系统或者协作企业 PDM 系统中各种构型(技术状态)的模型,其向生产系统输出的模型必须依赖于企业 PDM 系统进行构型(技术状态)管理。由于工艺模型是对设计模型的再设计,工艺系统对产品设计系

统也有一定要求,需要专用的产品数据转换与抽取工具。另外,在集成应用中还需要针对输入(产品数据、制造知识等)和输出(生产系统、仿真、统计分析等)开发数据转换接口。

2 数据管理的要求

工艺系统产生的数据,其结构需要符合企业规范要求。按照三维工艺模型的设计思路,所有工艺信息都集成表达在零部件模型上,因此其构型控制、权限控制等都是针对模型文件发生的。模型文件的管理可以借助企业 PDM 系统进行。这样,模型数据的更改要符合企业数据管理规范的要求。

3 工艺系统架构

根据航空制造业的现状和发展预测,整个工艺系统的数据流应是从 LCA 系统接收产品设计模型,在三维工艺设计系统创建工艺模型,进

研究与实践

通过对企业三维工艺设计的需求分析,突破了设计 BOM 到工艺 BOM 重构、工艺描述信息与模型关联表达、基于特征的工序模型快速创建等系统开发的关键技术,开发出了三维工艺设计系统——MBPP (Model Based Process Planning) 的原型系统,利用产品模型在工艺设计中实现 MBD 技术的深入应用,能够实现三维可视化制造的目标。同时,综合考虑设计制造一体化,为企业数据管理、流程控制和生产现场反馈预留了接口。

目前,装配工艺设计、机加件工艺设计及可视化集成应用进入试验验证阶段。部分系统应用见图 5。

结束语

三维工艺设计是大型复杂机械产品在全球化协同研制模式之下的技术革新,其重大意义在于将产品的三维设计成果直接应用于制造阶段,使产品数据源以三维形式贯穿研制全过程,消除了大量二维制造流程,发挥了企业制造网络的效率。该模式下,三维模型成为设计与制造的唯一依据,实现了真正意义上的数字化研制。

参考文献

- [1] Liu C Y, Zhang Y Q, Sun L. Web based 3D Assembly Sequence Planning Prototype Integrated with CAD Model. IEEE.2008.
- [2] 余志强. 基于 MBD 的三维模型在飞机制造过程中的应用. 航空制造技术, 2009(25): 82-85.
- [3] 胥利军,张振明,田锡天,等. 基于三维零件模型的工艺路线设计方法研究. 机械设计与制造, 2010(1):28-30.
- [4] 罗炜,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. 航空制造技术, 2010(18):72-76.
- [5] 孟飏,林楠,范玉青,等. 基于 Web 协同的复杂机械产品工艺数字化定义. 北京航空航天大学学报, 2005, 31(9):939-943.

(责编 小城)

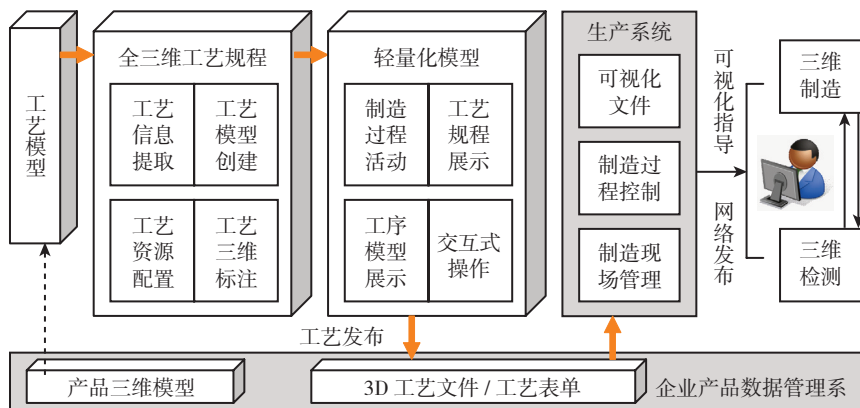


图4 三维产品制造信息发布与集成应用

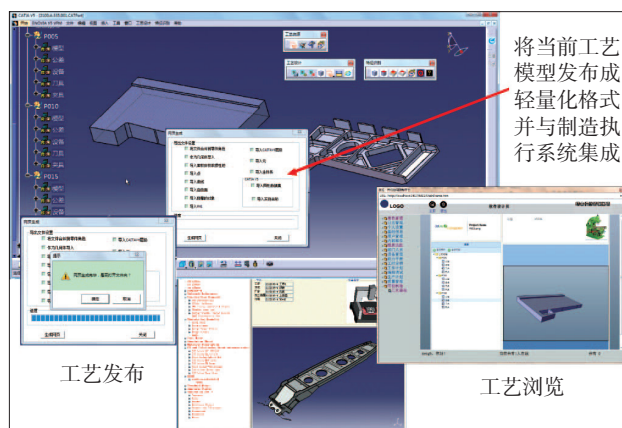


图5 机加工工艺设计及可视化集成应用

行 BOM 重构及变更管理;利用企业已有的 PDM 系统进行构型(技术状态)管理与发布;MES 系统只接收最终有效的三维可视化工艺指导信息。三维工艺设计系统与产品设计平台 LCA、企业 PDM 系统、MES 系统均有数据集成关系。