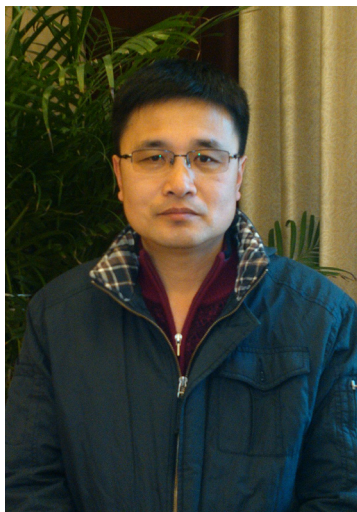


面向航空发动机产品的 三维工艺设计系统开发及应用

3D Process Design System Development and Application for Aeroengine

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 张森棠 李冬梅 赵恒 史宇 宋策



张森棠

中航工业发动机数字化加工首席技术专家,从事精密加工工艺、高效数控加工技术、数字化制造技术方面的研究。

当前,我国航空制造业的数字化技术发展迅猛,三维数字化设计技术和数字化样机技术得到了深入应用。新型航空发动机整个设计过程采用数字化产品定义技术,以全三维的数字模型为数据源,传递给下游的制造企业,航空发动机研制过程中基于模型的工艺设计与制造已成为发展趋

势,基于全三维设计模型的数字化工艺设计模式已成为航空发动机型号研制的必然趋势。

航空发动机产品三维数字化工艺设计的技术环节包含从获取设计数据到最终工艺发布的全过程,包括制造依据获取、三维工艺设计、工艺数据管理、工艺发布等技术环节,构成了基于模型的三维数字化工艺技术链。

势,基于全三维设计模型的数字化工艺设计模式已成为航空发动机型号研制的必然趋势。

为适应型号全三维设计发图以及设计制造协同工程的技术发展要求,必须在现有信息化建设基础条件上,进一步突破协同技术管理模式、并行工作流程、协同平台环境等一批关键技术,打通以三维工艺设计为主线的协同工艺准备技术链,涵盖工艺设计、毛坯设计、工装设计、数控编程、虚拟仿真和数字化检测等多个技术环节,支持从产品设计、工艺准备、生产制造、装配试车等过程中产生的制造工程数据的管理。

航空发动机产品三维数字化工艺设计技术需求分析

1 航空发动机产品三维数字化工艺设计技术需求

传统的航空发动机零部件是按工艺类型分类的,如机加工工艺、热工艺、装配工艺等,不同的工艺类型按涉及的产品、工艺和资源3个要素进行工艺分工和生产线配置。在数字化工艺设计环境中,以上3部分在工艺规划阶段就需要统筹考虑,通常采取结构化的数据存储方式管理。顶层是设计数据,在工艺规划阶段需要从CAD和PDM中导入。由于工艺设计本身就是一个集成的概念,和CAD、CAM有着密不可分的关系,工艺过程即零件的形成过程整体表现了工序之间的相互联系,同时又详细说明了每道工序的加工条件和加工要求。

在航空发动机产品加工过程中,零件的形状始终在不断地变化,最终逼近理想的设计要求。而在航空发动机产品工艺设计过程中,零件

形状的变化过程转化为工序模型的衍生过程,也就是零件设计 BOM 如何向零件的工艺 BOM 转换,这种转化在整个工艺设计过程中是逐步传递演变的。为满足产品的设计要求和零件的加工要求,需要经过一个“规划—设计—验证—再规划—再设计—再验证”的反复过程,最终的工艺路线、工艺过程和验证过程数据构成了完整的能够满足所有技术指标的工艺数据包。

航空发动机产品三维数字化工艺设计的技术环节包含从获取设计数据到最终工艺发布的全过程,包括制造依据获取、三维工艺设计、工艺数据管理、工艺发布等技术环节,构成了基于模型的三维数字化工艺技术链。

2 航空发动机产品三维数字化工艺设计的内涵

三维数字化工艺设计是以全三维设计数据作为制造依据进行数字化工艺设计与管理的过程。在三维工艺设计过程建立的工艺模型中,既包含描述零件加工状态的几何特征、尺寸与公差、形位公差和表面粗糙度等几何数据,也包含了定位和装夹要求、加工要求和工序操作说明等非几何信息,完整表达了直接提供给加工过程使用的、能完整描述零件加工工艺过程的工艺规程所包含的全部工艺数据。

三维数字化工艺设计的特点是工艺人员在三维环境下,建立与设计模型相关联的工艺模型及相关工艺信息,形成以工艺模型为核心的工艺数据;利用虚拟制造技术预先验证加工工艺的可行性和合理性,有助于实现与设计并行的工艺性审查和工艺性分析,提前发现可能的设计缺陷,保证研制质量,缩短研制周期;利用多视角、多元化的工艺发布工具,全方位展示面向工程的动态工艺过程,实现后续制造过程所需的工艺过程可视化应用。

航空发动机产品数字化工艺设计系统开发

为实现航空发动机产品制造数据和业务技术联的紧密集成,必须建立面向航空企业的集成统一架构,把项目管理、系统工程、CAD 数据以及知识捕捉集成在一个系统、一个数据库中,以便能够使用一种公共系统平台,一种公共语言,以一种简洁的方式沟通。然后,用系统平台提供的公共工具,共享公共数据集,这样数据输入之后,就可以对产品的制造、质量以及所有其他方面进行沟通和多次共享。这就需要建立统一架构下的系统平台,能够在系统之间有效共享和数据,在整个航空企业内部最终实现有效协同。

1 航空发动机产品数字化工艺设计系统架构设计

随着数字化工程项目的推进,航空企业已全面普及 PDM 系统、三维 CAD/CAE/CAM 一体化软件工具。其中三维 CAD/CAE/CAM 软件工具作为工艺设计的实施工具, PDM 系统则作为工艺设计过程的数据管理和流程管控工具,解决了软件工具层面

的问题。为适应基于模型的数字化工艺设计的需要,必须通过集成软件工具来建立航空发动机产品数字化工艺设计的应用环境,如图 1 所示。

航空发动机产品数字化工艺设计应用环境由数据转化层、工艺设计层和业务管控层 3 个层面构成,数据转化层将三维设计数据转化为制造依据,并作为顶层的源工艺数据;工艺设计层依据源工艺数据进行详细的工艺设计工作,建立基于工艺模型的结构化数据,通过多视图的工艺表达展现方式,根据不同工艺类型的需求提取工艺数据生成工艺文件,并以多媒体、多元化的形式发布到现场用于指导现场加工;工艺业务管控层依托数字化工程系统进行工艺审签、工艺会签、工艺更改完善,以及全三维工艺数据和业务过程管控工作。

航空发动机产品数字化工艺设计应用环境为复杂产品的研制提供了一个独特的基于模型驱动的系统工程工作环境,它从需求阶段开始即通过模型(而非文档)的不断演化、迭代递增而实现产品的数据转化和工艺过程设计;通过模型的结构化数据定义可以清晰地刻画工艺设计

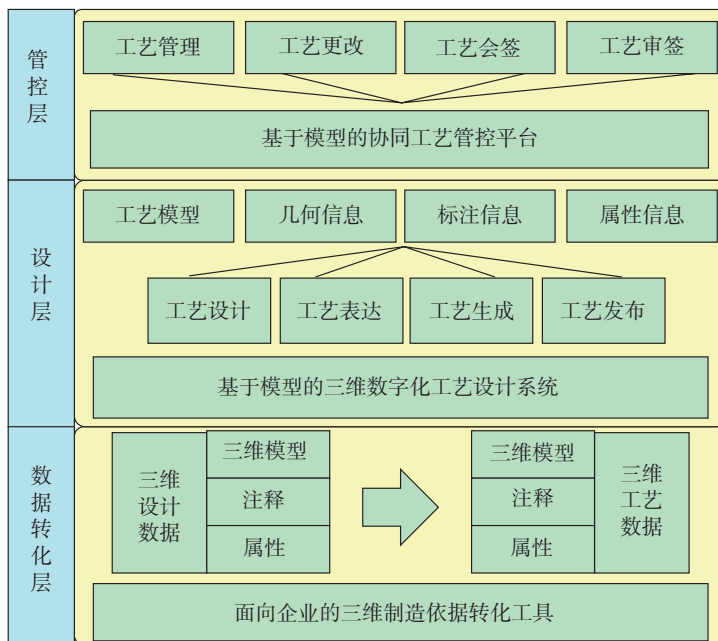


图1 数字化工艺设计系统架构

的功能需求;基于模型可以尽早通过模拟仿真预先发现工艺设计中潜在的技术隐患;同时系统还为各方提供了一个公共通用的、无二义性的设计信息交流工具。

2 航空发动机产品数字化工艺设计系统开发

PDM 系统、三维 CAD/CAE/CAM 一体化软件等,只是解决了基于模型的数字化工艺设计软件层面的问题,在实用性、智能化方面还无法满足航空企业的需求,必须从工具层面、功能层面和系统层面进行全方位地研究和验证(图 2)。

(1) 工具层面。

为实现工艺设计过程的标准、规范化、智能化,需要对数字化工艺设计环境进行适度定制工作,开发和配置实用化的应用工具,包括系统初始化工具、工艺规划与分析工具,工序模型快速准确创建工具、三维标注工具,以及可视化浏览及发布工具等。

(2) 功能层面。

对数字化工艺设计环境进行客户化处理,在三维 CAD/CAE/CAM 一体化软件中,进行工艺规划与分析、工艺设计与验证、工艺建模、三维标注、三维浏览等功能客户化处理;在 PDM 系统进行工艺规划定义同步处理,工艺创建、工艺修订、工艺审签、工艺会签、工艺文件管理等功能客户化处理。

(3) 系统层面。

将三维设计软件(如 UG-NX 软件)高度集成到数字化工程系统中,建立面向快速研制的业务辅助工具集和集成工作环境,即依托企业的数字化工程系统平台,用协同工艺设计这座中间桥梁把 CAD 和 PDM、工艺设计和制造管理集成一体化,用于支持工艺设计的核心业务流程和工艺数据管理,实现工艺设计过程中制造依据、工艺数据信息、工艺设计过程以及业务管控数据的共享和关联,为

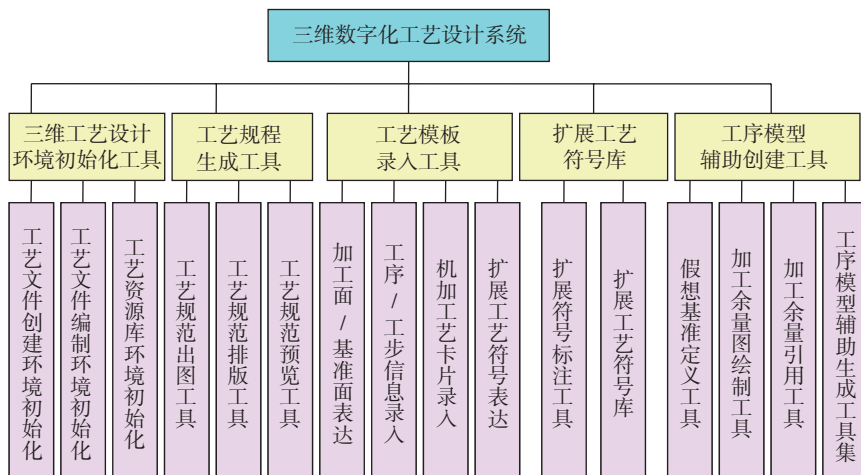


图2 数字化工艺设计系统功能

工艺设计和业务管控提供基础与技术保障。

3 航空发动机产品数字化工艺设计技术

全三维数字化工艺设计技术由设计数据转化、三维数字化工艺设计和数字化协同工艺管控等技术主体构成(图 3)。为达到基于全三维设计数据的工艺方案制定及详细工艺设计的目的,需要开发工序建模、工艺过程设计、资源定义与选择、数控编程、仿真、工艺生成、工艺准备业务过程管理及工艺数据管理等使能工具来提高航空发动机产品数字化工艺设计与管理的水平和效率,在此基

础上,逐步建立和完善航空发动机产品三维数字化工艺设计环境。

(1) 航空发动机产品三维制造依据获取。

航空发动机产品三维设计数据是产品加工的制造依据和检测依据,由基于模型的几何特征信息、非几何信息、管理信息和相关技术文件所构成的数据集构成。三维设计数据无法直接作为工艺数据和制造依据,必须依据工艺设计规则、工艺知识库和相应的工艺模板,利用提取工具快速获取三维设计数据信息,完成由三维模型、注释、属性构成的三维设计数据向三维工艺数据的转换(图

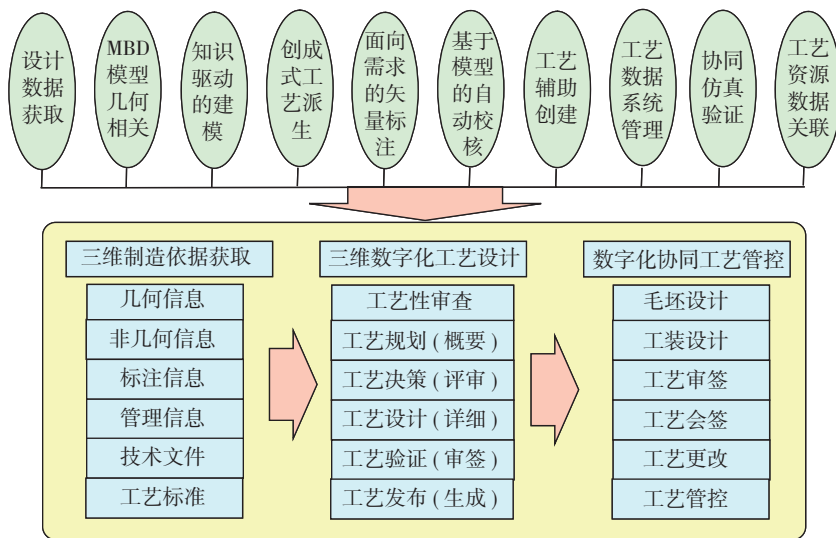


图3 数字化工艺设计技术

4),生成由工艺模型、注释、属性等所构成的三维工艺数据集,然后转变为航空发动机产品制造依据。

(2) 航空发动机产品快速工艺设计技术。

航空发动机产品工艺设计作为连接航空产品设计与航空产品制造之间的桥梁,是在给定的机床、刀具及夹具等资源约束下,为达到预期的零件设计要求和加工技术指标而进行的工艺过程设计,包括零件加工工艺性分析、工艺方案制定、工艺路线规划,工艺装备选择和详细工艺过程设计等内容。工艺设计是一项系统工程,输入的是制造依据、技术标准、工艺装备,输出的是指导相关工艺准备环节和现场执行的工艺文件,并作为进行协同工艺准备和决定零件加工方法与加工路线的主要依据。航空发动机产品的生产表现为多品种、

中小批量,需要根据企业的生产现状和实际需求,保留原有的交互式的工艺准备模式,并在此基础上,融合基于知识的航空发动机产品数字化工艺设计理念。

(3) 基于数字化工程系统平台的航空发动机产品工艺数据管理技术。

数字化工程系统平台定位是数据与任务管理平台。在数据管理与流程管理方面具有优势地位,与其进行数据管理集成是充分发挥该平台的长处。采用同步技术将工艺设计数据结构化存储在数字化工程系统平台中可以满足数据管理、数据协同的需求。

(4) 基于模型的几何全相关技术。

工序模型之间有天然的演变关系(图5),工序模型也依赖于余量图,二维工艺简图依据三维工序模型。建立工序模型与余量图、前后工

序模型、三维工序模型与二维工艺简图之间的几何相关性、参数相关性对于维护数据一致性和提高工序模型创建效率有重要意义。

(5) 面向工艺知识的工序建模技术。

工艺员的增值劳动在于与工艺知识相关的设计工作,而复杂的建模操作则属于不增值的劳动。针对不同产品结构特点,提供面向工艺知识的快速建模工具辅助工艺员创建工序模型(图6),能够提高设计效率,保证模型数据正确性。

航空发动机产品三维数字化工艺设计系统应用

1 航空发动机产品设计数据获取

(1) 航空发动机产品管理属性信息获取。

航空发动机产品的设计管理属性信息在UG-prt文件中“显示的部件属性”表中,包括版本、密级、型别、图样编号、图样名称、特性分类等信息。对应的工艺属性信息分别是版次、密别、型号、件号、件名和零件特性等信息,在属性命名定义和企业现有的命名规则有所不同,需要将对应的设计数据信息转换为对应的工艺数据信息。在获取这些属性信息时,需要进行关联处理,使设计信息和工艺信息一一对应。

(2) 航空发动机产品材料信息获取。

零件的材料信息分别在UG-prt文件“零组件 Revision Master”属性表、“部件导航器”中的技术要求视图和“显示的部件属性”表中,包括材料牌号、毛坯种类以及制造要求等信息。通过提取的方式(图7)将其分别放入工艺文件相应表格中。

(3) 基于模型的航空发动机产品信息来源。

基于模型的航空发动机产品信息包括零件几何模型、几何信息和属性信息等,零件模型为UG-prt文件

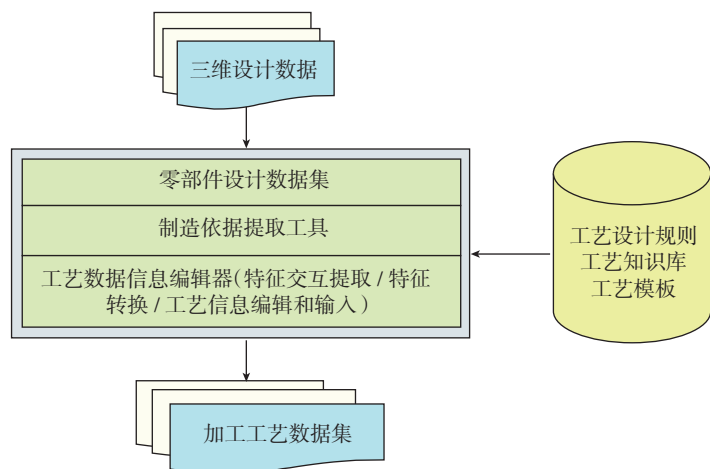


图4 三维制造依据获取

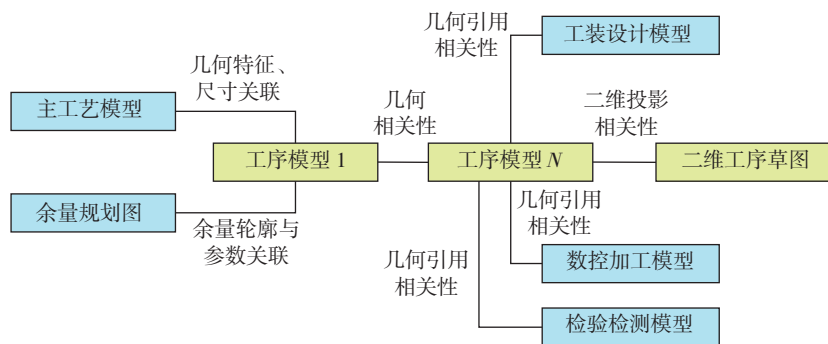


图5 工序模型几何全相关关系

环节。工装设计可直接调用工序模型,通过 PDM 系统发起工装设计申请流程,工装设计部门接到任务后,利用三维工序模型设计工装,设计完成后,结束工装设计申请流程。数控程序编制包括刀位源文件生成和 NC 代码生成两部分,刀位源文件可以直接利用 UGCAM 自身的刀轨验证功能进行仿真,仿真无误后进行后置处理,后置处理程序从 PDM 系统获得。基于模型的检验检测首先依据定义

的检测特征、尺寸公差和基准,进行检测路径规划和仿真验证,采用预先定义的测量规则快速生成检测方案。工艺评审包括零件工艺性审查、工艺路线评审、工艺会签、工艺文件(三维工艺数据集)审签等工作。如设计、工装和工艺发生变更,则需要进行工艺,工装更改。在评审工作通过后,输出指导现场的工艺文件,包括工艺规程、数控程序、检测程序等构成的工艺数据包。工艺设计过程数据

和工艺文件由 PDM 系统统一管理,通过工艺审批流程,锁定工艺,三维工序模型提供下游(编程、工装设计)使用。

4 航空发动机产品可视化工艺发布

基于模型的航空发动机产品三维工艺发布系统是三维数字化工艺设计实施的重要组成部分,由三维工艺设计数据自动解析、工艺数据与仿真结果自动集成和工艺文件自动生成等功能模块构成,通过三维工艺设计数据信息的关联提取,按需选择、按需提取指导现场实际加工的可视化工艺文件。其中三维工艺设计数据自动解析以三维工艺设计数据为数据源,应用相应的数据结构解析技术,实现三维工艺设计数据的自动解析、提取和应用,并保证数据的正确性和继承性。工艺数据与仿真结果自动集成功能通过技术手段将数控工步信息与相应的几何仿真有效结合,实现多类别数据信息的自动集成。工艺文件自动生成功能是从解析获得的三维工艺数据,提取出所需的工艺数据信息,并通过定制工艺模板,实现工艺信息的自动汇总和工艺文件的自动生成。基于模型的工艺发布系统作为全新的工艺展示方式,采取了多元化的可视化数据信息展示方式,使现场操作者能够更加直观地了解 and 体验工艺过程。

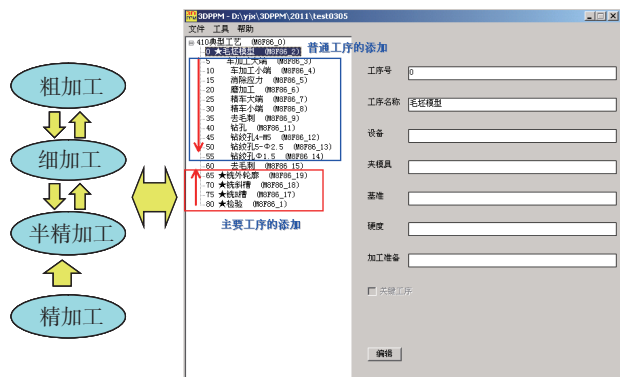


图9 工艺规划

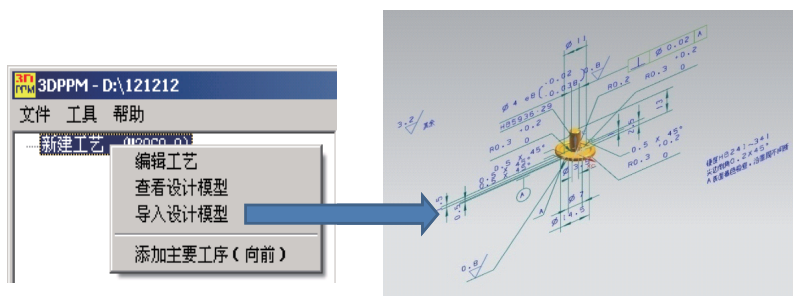
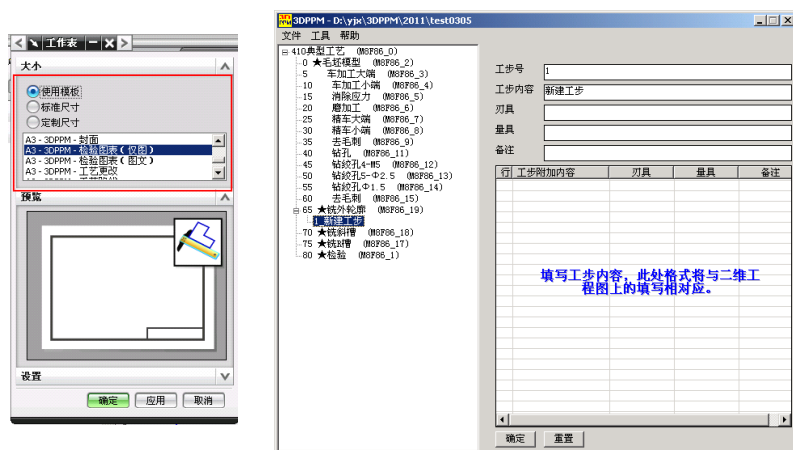


图10 工艺模型导入



(a) 导入工艺模板

(b) 工序信息录入

图11 工序信息录入过程

结束语

本文结合航空发动机产品加工工艺的特点,系统地分析了基于模型的航空发动机产品协同工艺准备全过程,探讨了基于模型的航空发动机产品数字化工艺规划、验证和执行的实施过程,建立了工艺设计与过程优化的航空发动机产品数字化工艺设计系统结构。航空发动机产品数字化工艺设计系统的开发和实施在型号研制中得到了验证,为航空企业应对全三维设计发图提出了一种全新的技术解决途径。(责编 夏宛)