

基于MBD三维工艺设计系统的开发与应用

Development and Application of 3D Process Design System Based on MBD

中航工业惠阳螺旋桨有限责任公司 郑雷



郑雷
高级工程师,现任中航工业航空螺旋桨有限公司信息化总师,主要从事公司信息化规划、实施和建设。

三维工艺设计作为支撑基于MBD的三维数字化设计、制造一体化研制模式的关键环节,负责确定产品制造过程以及制造所需的制造资源、制造时间等,是连接产品设计与制造的桥梁。它一方面通过解析上游设计数模中的相关信息来开展工艺设计,另一方面为下游生产制造提供现场的指导和依据,因此,工艺设计对缩短产品研制周期、提高产品质量和降低制造成本具有重要影响,属于飞机研制的关键基础技术之一。

数字化制造时代。

近10余年,随着飞机制造技术的发展,以波音、洛·马和空客公司为代表的飞机制造业在数字化技术应用领域取得了巨大的成功。波音公司在以波音787为代表的新型客机研制过程中,全面采用了MBD技术,将三维产品制造信息(Product Manufacturing Information, PMI)与三维设计信息共同定义到产品的三维数模中,摒弃二维图样,直接使用三维标注模型作为制造依据,使工程技术人员从百年来的二维文化中解放出来,实现了产品设计(含工艺设计)、工装设计、零件加工、部件装配、零部件检测检验的高度集成、协同和

融合,建立了三维数字化设计制造一体化集成应用体系,开创了飞机数字化设计制造的崭新模式,确保了波音787客机的研制周期和质量。

三维工艺设计作为支撑基于MBD的三维数字化设计、制造一体化研制模式的关键环节,负责确定产品制造过程以及制造所需的制造资源、制造时间等,是连接产品设计与制造的桥梁。它一方面通过解析上游设计数模中的相关信息来开展工艺设计,另一方面为下游生产制造提供现场的指导和依据,因此,工艺设计对缩短产品研制周期、提高产品质量和降低制造成本具有重要影响,属于飞机研制的关键基础技术之一。

随着数字化技术的发展,飞机产品设计已实现基于全三维数字化定义,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可能,促使新一代机型甚至无纸化制造需求的提出。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

国内航空基于 MBD 技术现状 及存在问题

当前,我国航空制造业的数字化技术应用发展迅速,MBD 技术的引入和工程实践虽处于起步阶段但也已开展多年,建立了 MBD 应用规范及相关标准,并且目前航空工业主要厂所已经开始,甚至深入三维数字化设计制造的应用,建立适应我国航空制造企业的 MBD 技术应用推广路线和技术体系,使得 MBD 数字化模型贯穿于整个产品生命周期的数字化制造过程中,建立基于 MBD 模型的数字化设计制造一体化集成应用体系,达到无图纸、无纸质工作指令的三维数字化集成制造,是缩短产品研制周期,提高产品质量,保证产品研制节点的迫切需求。

在建设 MBD 的整个环节过程中,随着基于 MBD 三维设计规范的制定和完善,为三维工艺的建设 and 实施奠定了基础,三维工艺逐渐成为 MBD 建设的重点和关键,也代表着企业生产和制造的最高水平。但大部分国内航空制造企业的现状是,由于三维工艺建设过程复杂,技术难度高,特别是以机加工工艺为代表,因此企业还是停留在设计采用三维,而工艺还沿用原有的二维 CAPP。但二维工艺存在以下缺点和不足:

(1)二维工艺系统的工艺卡片主要以二维简图和描述信息表达为主,对于稍微复杂的工艺,这种表达方式很难进行清晰直观有效的表达,增大生产制造环节出错的概率,影响产品的质量。

(2)对于特征标注较多的产品,二维图纸难以全面地表达设计信息,经常出现标注遗漏的情况,增加工艺规划的难度和出错几率,并缺少进行工艺验证的手段,经常在制造阶段才发现工艺设计存在缺陷,拖延了产品交付进度。

(3)二维图纸无法有效地利用

现代的电子样机技术对产品进行虚拟仿真,更无法清晰流畅地进行各种性能分析,无法在工艺规划阶段消除问题,导致问题出现后续的生产制造环节,造成设计更改周期和成本的提高。

基于 MBD 三维工艺设计系统 开发的必要性

传统的二维工艺设计系统(Computer Aided Process Planning, CAPP)存在与数字化产品设计不衔接的弊端,不能充分利用上游三维 CAD 设计数据,不能完全消除工艺设计转换造成与产品设计数据的不一致性,难以实现工艺设计的继承性、规范性、标准化和最优化。且二维的工艺设计指导现场的可操作性不强,易产生操作者解读困难,产生二义性等诸多弊端。

开发基于 MBD 三维工艺设计系统成为实现基于 MBD 协同平台(即:三维设计、工艺和制造)必不可少、承上启下的阶段性任务,而现有通用成熟的大型设计软件没有三维 CAPP 系统,因此必须构建基于 MBD 三维工艺设计系统(图 1),通过对三维 CAD 设计数据的充分利用,高效地完成工艺的设计和管理,并实现与 PDM 和其他信息化系统的集成,充分发挥数据流、信息流集成优势,可

以提高效率、保证型号工程的质量和工艺的标准化规范化,可以缩短工艺准备和生产技术准备周期,并最终达到缩短产品研制周期、生产周期和提高产品质量的目的。

作为工艺设计系统也必须由传统的支持二维的工艺设计转变为支持三维实体模型进行工艺设计,同时工艺设计系统的应用也必须从基于二维 CAD 的集成向基于三维 CAD 的集成发展,即基于三维 CAD 的三维工艺设计系统。

三维工艺设计系统采用基于三维 CAD 模型的设计技术,增加了产品的可读性和一致性,减少了理解图纸的时间,进一步提高了工艺设计方式、工艺资源及制造数据管理模式等的合理性与科学性,实现设计、工艺、制造数据源的唯一性。

基于 MBD 三维工艺设计系统的主要意义如下:

(1)面向飞机制造过程中完整的工艺设计,支持顶层工艺设计及详细工艺设计,可实现指令性工艺文件、管理性工艺文件以及生产性工艺文件的制定、管理和发放,以及工艺文件的审批流程控制与管理;

(2)对工艺设计过程进行管理,对于特征标注较多产品的工艺设计可以减少出错几率,提高工艺设计效率和准确度,同时对工作任务进行分



图1 三维工艺设计系统主界面

派与跟踪,支持各类工艺设计业务相关的工艺设计流程;

(3)工艺设计系统可支持上游的基于MBD技术设计的三维设计数据,能够最大限度传递和继承设计的信息,有效减少工艺和设计理解上的偏差,降低出错概率,能将三维设计成果融入到对应的工艺设计过程中,支持三维工艺需求;

(4)满足装配(部装、总装)和零件制造实际业务需求,通过三维仿真验证手段,可以对产品装配、机加过程进行全程仿真验证,最大限度地将问题暴露在设计工艺规划环节,降低后端更改的成本和时间,满足工艺设计与工艺管理需要;

(5)通过车间现场可视化系统与制造执行系统(MES)的集成,实现三维工艺指令向车间现场的数据

发放,采用直观的三维工艺表达方式,增强了工艺信息的可读性,提高生产制造阶段的效率。

基于MBD三维工艺设计系统的设计开发

1 系统总体框架设计

三维工艺设计系统包含9个业务功能模块,包括:工艺设计门户、PPR数据管理模块、项目管理模块、工艺文件管理模块、顶层工艺设计模块、结构化工艺设计模块、三维工艺设计模块、工艺基础库和基础配置管理模块(图2)。

(1)工艺设计门户。

用于解决型号工艺设计工作中的项目管理、流程管理、设计过程中的任务制定、下达、跟踪以及监控等问题。

(2)PPR数据管理模块。

工艺设计过程是对产品(Product)、工艺过程(Process)和资源(Resource)数据进行组织、重构和再造的过程。实现以PPR数据为核心,3类数据之间进行组织与关联,构建一个能够统一展示3类数据的功能模块。

(3)项目管理模块。

实现工艺项目工作包分解、 workflow驱动、后台任务推送和工作进度反馈、统计及展示。

(4)工艺文档管理模块。

此模块是对工艺相关的所有文档类对象进行统一的管理,在此模块可创建并维护文档对象,管理文档对象的属性、类型和某类文档对象所对应的文档模板等信息。

(5)顶层工艺设计模块。

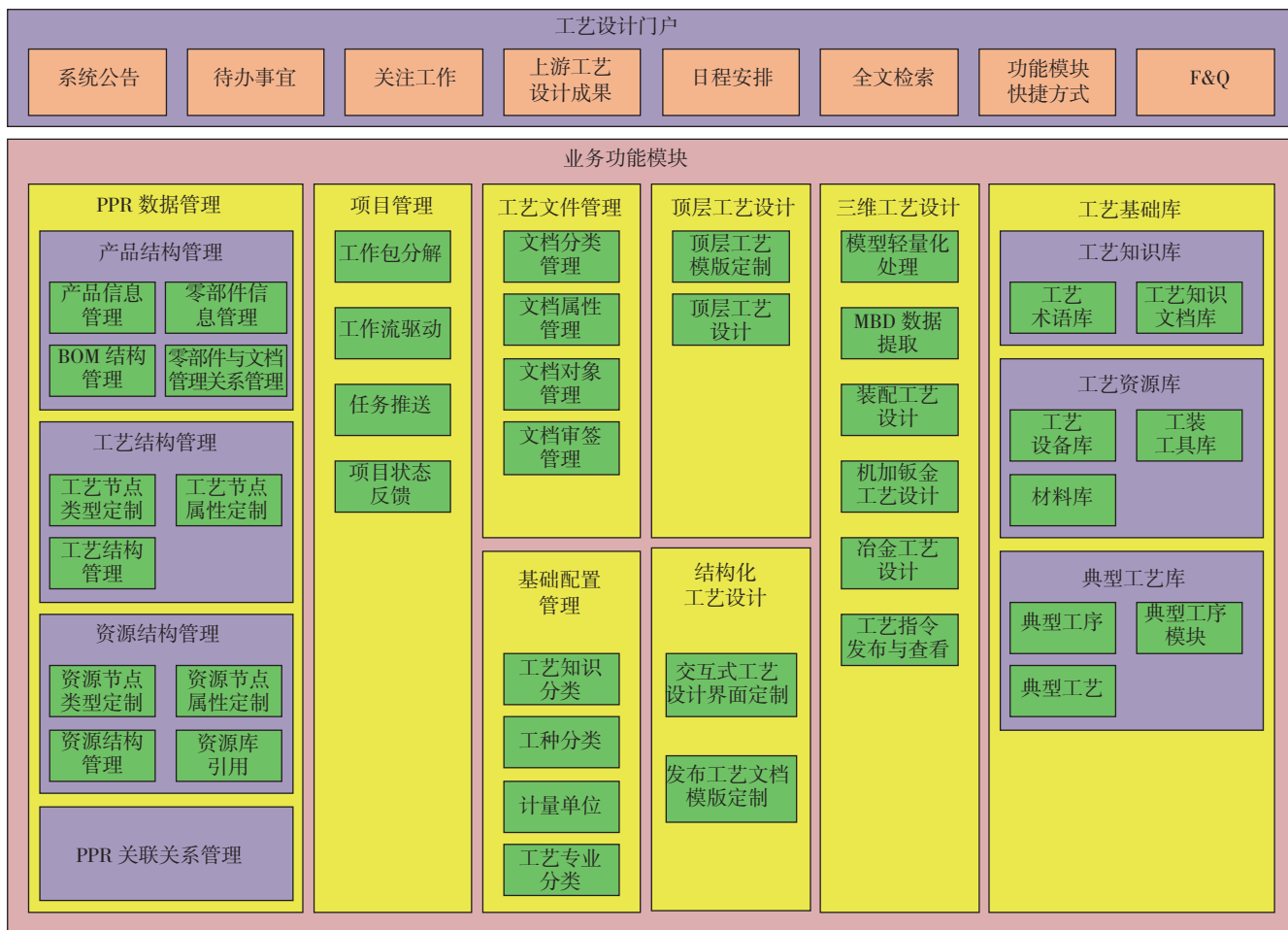


图2 软件系统功能框架图

主管工艺人员需要编制大量的指导性工艺文件,需提供一个在线文档编制模块,模块采取 B/S 架构,工艺人员可在网页环境中基于完成上述顶层工艺方案的设计工作。

(6) 结构化工艺设计模块。

需要定义大量的工艺文档,如工装申请单、工装返修单、工艺处理单、工艺更改单、超差单、代料单等。实现文档结构化管理和较细颗粒度的信息统一管理、检索、统计和分析。

(7) 三维工艺设计模块。

实现模型轻量化转换、MBD 模型数据提取、基于 MBD 模型的装配工艺设计、基于 MBD 模型的零件工艺设计、三维工艺设计结果发布以及查看二维工艺设计结果发布与查看等。

(8) 基础数据管理模块。

此模块是对整个系统的基础数据进行统一配置、管理的,重点面向系统管理员。

2 系统技术架构及开发环境

三维工艺设计系统是基于 J2EE 平台、采用面向构件技术实现企业级应用开发、运行、管理、监控、维护的基础平台,系统开发设计环境如表 1 所示。这是应用软件层次上一个新的层次,一方面承接底层的 J2EE 技术,一方面以更业务化的形式面向最终应用。

业务基础平台将 J2EE 体系规范、构件技术、XML 技术和可视化开发技术完美结合起来,为基于 J2EE 平台之上的应用提供了面向构件的

应用架构,通过图形化的构件单元作为应用系统的基本组成元素,使应用系统可以快速高质量地搭建,建成的应用系统具有较强的可管理、可维护能力,同时拥有最强的需求变化响应能力,并通过构件积累来持续积累软件知识财富。

业务基础平台从体系结构上可分为 3 层,从下往上分别为系统平台层、技术架构层及业务架构层。

(1) 系统平台层。

系统框架层主要指基础软件,如操作系统、数据库及 J2EE 应用服务器。业务基础平台支持多种操作系统(Solaris、Linux、Windows 等),可运行于符合 J2EE 规范的多种应用服务器(Tomcat、JBoss、IBM WebSphere、Oracle WebLogic 等),数据库支持 Oracle 和 Sqlserver。

(2) 技术架构层。

技术架构层是在系统平台层(操作系统、数据库及应用服务器)和业务架构层之间建立的一层技术封装层和系统资源监控和管理层。技术架构层屏蔽不同具体技术实现的细节,减少直接使用系统资源带来的复杂性、异构性、不安全性及不稳定性;技术架构层监控和管理系统资源,保证系统资源的可用性及其合理使用;技术框架层提供最佳编程模式,加快在不同技术平台上开发和部署应用的速度,保证应用的健壮性。技术架构层所屏蔽技术实现细节包括界面风格、多数据库适配、事务处理、并发处理、缓存处理、安全管理等。

(3) 业务架构层。

应用框架层是基于企业建模理论的、以业务导向和驱动的、可快速构建应用软件的软件平台。将应用软件的逻辑和开发技术相对分开,使得应用软件的开发者可以只需关注应用的业务逻辑,而不必关注其繁琐的技术实现。应用框架层基于业务和管理层面,以业务建模(组织、流程、功能、资源、信息)为基本手段,从而构造、开发和维护业务应用系统。

3 主要功能模块功能及实现

基于 MBD 三维工艺设计系统以三维工艺设计管理模块为核心,下面以三维工艺设计模块为例,对其功能及实现进行描述。

(1) 基于 MBD 模型的零件工艺设计模块分为机加工工艺设计及钣金工艺设计。机加工工艺包括使用传统人工操作的车、铣、刨、磨工艺设备及数控设备进行零件制造;钣金工艺种类繁多,在航空制造企业中主要用到的钣金工艺有闸压、滚压、液压成形等。无论零件采用何种加工设备和加工方式,其工艺设计信息的载体和工艺设计的过程是类似的。

基于 MBD 模型的零件工艺在传统二维工艺的基础上,更注重的是对轻量化模型和 MBD 数据集利用,并在零件三维模型基础上实现相关零件工艺仿真分析软件结合,将结构化工艺过程信息与是三维模型、视图、动画等信息紧密结合,形成三维零件工艺指令的电子数据包,以提高零件工艺设计效率和水平。

(2) 基于 MBD 模型的装配工艺设计是指以轻量化的三维模型为基础,有效地利用 MBD 数据集信息,以三维化、数字化、结构化的手段定义并展示整个工艺过程,实现高效、合理的装配工艺设计。基于 MBD 模型的装配工艺设计主要过程首先是进行产品装配规划,定于其装配次序,形成装配工艺模型,再建立与结构化

表1 系统开发设计环境

操作系统	WINDOWS XP/2003/7/2008 (32 位 /64 位)
数据库	Oracle 10g Release 10.2.0.1.0 及以上版本
应用服务	TOMCAT 6.0 以上版本
开发工具	PL/SQL Developer、MyEclipse
数据库建模工具	PowerDesigner
产品数据管理系统	ENVIA VPM V5R18, Windchill 9.0 以上;
第三方应用软件	CATIA V5R18 系统, 3DVIA-Composer V62012

装配工艺信息的互联,构建三维化的装配指令数据包等。

在基于 MBD 模型的零件工艺设计和基于 MBD 模型的装配工艺设计的工艺指令中,操作步骤都与三维视图相关联,以三维视图及三维动画为主,结构化的文字信息为辅的方式描述工艺过程,三维条件下的工艺指令也不再是传统的电子表格或纸质文档,结构化工艺过程信息以 XML 的标准结构化格式来存储,三维模型、视图、动画等三维相关信息以 SMG 文件格式储存,两者紧密结合,形成三维装配工艺指令的电子数据包。

(3)模型轻量化转换模块:在产品的设计过程中所采用的三维 CAD 文件存在着数据庞大、浏览速度慢,在工艺设计、产品制造、检验阶段中产品建模过程信息冗余等问题,为实现基于 MBD 的三维工艺设计及车间现场的无纸化作业,需要提供一种三维实体模型轻量化优化手段,缩减产品数据体积,释放系统资源,以提供工艺设计效率,并满足车间现场能够以三维工艺数据作为工作指导依据的需求。

本模块采用达索公司 3DVIA-Composer 第三方控件进行嵌入方式,针对三维工艺设计的需求,在系统后台实现对 CATIA 模型的自动轻量化转换,其转换过程中的精度可控,保证模型几何失真降到最小,即转换后得到模型精度要能满足后续装配、零件工艺设计要求;同时,模型转换的信息可按需配置,设定 CATIA 模型中的点、曲线、自由面、坐标系、惯性轴、三维标注(PMI)等数据是否保留至轻量化模型中,在避免数据冗余的前提下,实现 CATIA 模型中定义产品的尺度、表面粗糙度、行为公差、定位基准、标准件、连接件等信息获得有效继承,满足 MBD 设计信息在产品制造过程中的使用、加工和严拓的需要。3DVIAPlayerActiveX 控件接口常用方法见表 2。

(4)MBD 模型数据提取模块。

要实现数据集信息有效地向设计下游传递、重用,首先解决的是 MBD 模型数据捕获及提取问题。CATIA 模型中能以几何图形集的方式定义在模型中,同时基于 MBD 模型中还包含其他数字化定义集,主要包括:产品数据集、工艺数据集、工装数据集、制造数据集和检测数据集,它们全部存储在 CATIA 后台 ENOVIA VPM 系统的数据库中,也是后续工作所需单一产品数据源的基础和源头。

MBD 模型数据提取模块核心功能是进入 CATIA 模型数据集的后台 ENOVIA VPM 系统的数据库中,再进行有效处理,并提取这部分定义在几何图形集中的非几何信息,捕获后进行有效管理,将这些信息组织量构,

在三维工艺设计模块中,以结构化的树状结构进行信息展示和调用,实现基于 MBD 的装配及零件工艺设计技术落地(图 3)。

(5)三维工艺设计结果发布与查看。三维工艺指令是以工艺活动为中心,将三维产品工艺数据、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的工艺信息数据包,以三维化语言描述整个工艺过程,结构化工艺过程信息以 XML 的标准结构化格式存储,三维模型、视图、动画等三维相关信息以 SMG 文件格式储存。

在系统中除了提供三维工艺的设计环境,还需要提供一种有效的、基于网页浏览器的三维工艺发布、查看环境。系统中通过定义 HTML 模板,实现了三维工艺指令的在线查

表2 3DVIAPlayerActiveX控件接口函数表

接口	名称	描述
GoToView (viewName as String)	打开视图	根据任一名称, GUID, NetGUID 或 Index 打开视图
Play()	播放动画	使用 3DVIA Composer Player 播放动画
PlayMarkerSequence(strMarkerName as String)	按标记播放	从指定的标记到下一个进行动画播放
GetPropertyValue(strSelection as String, strPropertyName as String)	获得属性值	返回选择对象的单个属性值
SaveSMG(strFilePath as String, strPassword as String)	保存模型	保存打开的 3DVIA Composer 文件
SaveImage(strPathName as String)	保存图片	保存当前的 3D 场景中的快照到 JPG 格式图片

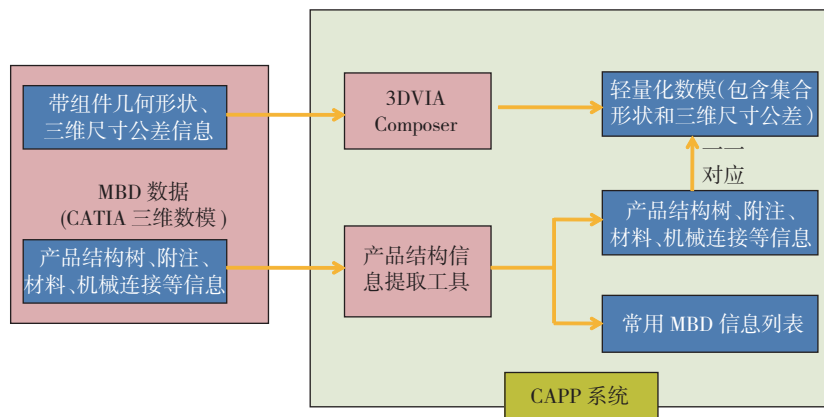


图3 MBD模型轻量化转换和数据提取模块功能机理

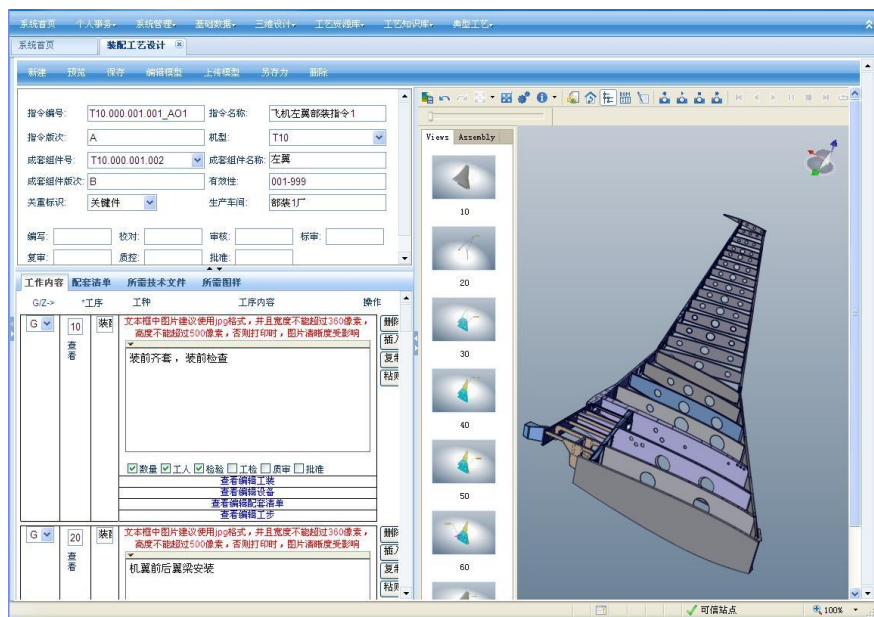


图4 三维工艺设计系统工艺查看界面

看。以此为基础,通过将三维工艺设计系统与PDM系统及MES系统有效集成,可依托PDM系统实现对三维装配指令电子审签过程,在数据定版后向下游MES系统发布,在车间现场通过MES系统进行浏览和使用,可以在生产现场指导工人对飞机进行装配或加工制造,帮助工人直观了解工艺全过程,实现可视化装配或加工制造(图4)。

(6) 二维工艺设计结果发布与查看。为了满足传统二维工艺指令打印的需求,需要系统提供三维工艺指令转换为二维指令,并提供打印功能。通过以三维视图替代原有工艺简图,每一道工序有系统自动提供对应的工艺视图辅以说明。同时,为满足用户个性化需求,可提供相应的报表定制及输出功能。以此为基础,通过将三维工艺设计系统与PDM系统及MES系统有效集成,可依托PDM系统实现对三维装配指令电子审签过程,在数据定版后向下游MES系统发布,在车间现场通过MES系统进行浏览和使用。此过程与三维工艺设计结果的发布类似,数据仍以结构化管理,但工艺设计成果的展现形式由三维变为了二维。

展望

工艺数字化系统是企业管理信息系统的重要组成部分,工艺信息模型是工艺数字化系统的基础,是实现产品信息集成与管理的关键。一个产品从需求调研、设计成功到设计工艺、工装,从加工制造到售后服务,其间要涉及很多工艺设计与管理方面的工作。以现有基于MBD三维工艺设计系统为基础与达索DELMIA的虚拟制造与仿真平台进行集成,可以构建基于MBD三维数字化工艺设计与仿真系统,并不仅仅局限于工艺文件的编制,还要实现工艺设计全过程的管理、数据分析和工艺流程的验证,更重要的是还可以实现基于三维数据信息的3D工艺规划,可以进行零件的加工3D工艺及仿真、验证;装配件的装配3D工艺及仿真、验证;加工或装配工位3D工艺规划及仿真、验证;装配线或生产线3D工艺规划及仿真、验证;生产车间或厂房的3D规划及仿真、验证。

而且,在进行各种工艺规划、仿真和验证的同时,可以生成3D的、图形化的工艺文档和过程演示视频,使工艺方案的评审更加直观和科学。

如果条件具备,DELMIA可以生成3D可视化的AO(装配大纲)和动态的操作说明,发放到生产现场供工作人员使用,提高工作效率,减少失误,提高产品质量。此外,DELMIA还可生成3D维护手册,用于指导现场操作,提高产品服务与支持的质量。

甚至还可以帮助企业建立一个完整的3D数字工厂(厂房)环境,并结合人机工程模块,将虚拟的人体模型放置到数字工厂环境当中,进行人机工效的评估,同时结合QUEST模块,进行人员流、物流以及生产线的分析、模拟,从而真实反映产品从零件到装配、工位、流水线、工厂的生产过程,直观分析产品的可制造性、可装配性、可拆卸性和可维护性,并生成相关的分析报告,为企业的决策提供支持。

结束语

航空复杂产品在产品设计上具有产品结构复杂、设计更改频繁、零部件数量庞大、材料种类繁多等特点;在产品制造上具有工艺专业种类多、加工/装配工艺复杂、制造流程长、零部件配套关系复杂等特点;在管理上具有工程更改频繁、供应链复杂、协作协同复杂、产品质量要求高、按架次管理等特点,并且航空复杂产品在其产品生命周期涉及到多产品、多企业、多部门、多业务之间的复杂协作。随着MBD技术在航空领域的深入应用,基于MBD三维工艺设计系统在航空企业的设计开发和应用只起到抛砖引玉的作用,如何高效地完成工艺的设计和管理,并实现与PDM和其他信息化系统的集成,充分发挥数据流、信息流集成优势,提高效率、保证型号工程的质量和工艺的标准化规范化,缩短工艺准备和生产技术准备周期并最终达到缩短产品研制周期、生产周期和提高产品质量的目的,还需要不断的研究和探索。

(责编 深蓝)