

基于产品成熟度的设计制造高度并行研发模式

惠 巍¹, 金哲珠², 胡保华³, 陶 剑¹, 沈 波¹, 赵一极¹

(1. 中航工业信息技术中心, 北京 100028;

2. 中航工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司, 哈尔滨 150066;

3. 中航工业陕西飞机工业(集团)有限公司, 汉中 723000)

[摘要] 设计与制造协同作为并行工程的重要环节,是从设计阶段就开始考虑产品的可制造性,有效减少工艺准备时间,缩短研制周期及上市时间。但如何做到设计与制造有效协同一直是困扰航空制造行业的难题。在原有 VPM-Windchill-DELMIA 协同研发的模式下,进一步探讨基于 VPM 与 DELMIA 直接开展设计制造高度并行的研发模式工程应用研究,为实现复杂产品设计制造的协同研发提供新的技术途径。采用 VPM-DELMIA 模式,可以提升设计与制造的最大并行程度,让制造部门可以及时了解设计状态,提早开展工艺设计过程。

关键词: 并行工程; 可制造性; 协同; 成熟度

Design and Manufacture High Parallel R & D Model Based on the Product Maturity

HUI Wei¹, JIN Zhezhu², HU Baohua³, TAO Jian¹, SHEN Bo¹, ZHAO Yiji¹

(1. AVIC Information Technology Co., Ltd., Beijing 100028, China;

2. AVIC Harbin Aircraft Industry (Group) Co., Ltd., Harbin 150066, China;

3. AVIC Shaanxi Aircraft Industry (Group) Co., Ltd., Hanzhong 723000, China)

[ABSTRACT] As an important part of a parallel project, the design and manufacturing collaboration has thought about product manufacturability at the design stage, to reduce setup time and shorten the development cycle and time to market. But how to achieve effective collaborative design and manufacturing has been a trouble in aviation manufacturing industry. Using the original VPM-Windchill-DELMIA collaborative research and development mode, based on VPM and DELMIA to further explore to conduct highly parallel direct R & D model applied research engineering design manufacturing, can provide new technical approach to achieve collaborative development of complex product design manufacturing. Using VPM-DELMIA mode, the maximum extent possible to enhance parallel of the design and manufacturing, so that the manufacturing department can timely understand the design state, early conduct process planning.

Keywords: Concurrent engineering; Manufacturability; Collaboration; Maturity level

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.23/24.137

先进设计制造一体化技术是在传统设计制造技术的基础上,不断吸收计算机、信息、网络和其他现代科学技术的成果而发展起来的新兴综合技术^[1]。波音公司的 787 项目从产品设计到交付过程向世界展示了全新的飞机数字化研制生产模式,以 CATIA、DELMIA、ENOVIA 软件系统作为数字化协同设计/制造与全生命周期管理平台构建了全球协同研制环境(Global Collaborative Environment, GCE);而另一个航空巨头空中客车则在空客 A380 飞机的研制中全面采用数字化设计、制造、管理技术,建立起了基于并行工程的系统方法,采用 CATIA、VPM、DELMIA、PRIMS 等先进工具、方

法和业务模式在虚拟配置的 3D 环境中进行飞机设计,建立起了可配置的 DMU,实现在逼真的 3D 环境中的异地协同设计评审、仿真和共享^[2]。

我国对设计制造协同并行层面上的业务模式也在不断摸索与尝试,国内某型号产品基于 Windchill 平台按产品成熟度(以下简称成熟度,参照国内设计院对产品成熟度阶段的划分)划分发放产品模型^[3],提前进行工艺定义和工艺设计工作,并在大部分阶段实现了工艺审查、编制工艺总方案文档的并行协同^[4],但由于基于 VPM-Windchill-DELMIA 异构系统,使得实际业务过程中仍然以准备和等待为主,装配等详细工

艺设计工作仍然要等到正式发图后才能进行,导致并行效率很低,因此在设计制造协同模式中有很大的提升空间^[5]。

随着国外先进技术的引入以及国内业务发展对设计制造高度并行模式的需求,基于VPM与DELMIA集成直连的并行研发模式开始成为国内飞机制造企业研究的热点。使用基于VPM与DELMIA集成直连的设计与制造协同工作模式有以下优点:

(1)规避了异构系统带来的集成问题,如空间位置错误、ER模型解析等问题。

(2)在VPM中设计的有效数据元素(含设计的工程有效性,如筛选器、筛选规则、运算规则等)均可以完整地继承到DELMIA系统中并进行使用^[6]。

(3)当产品设计完成或进行更改时,制造单位可以第一时间了解到产品发生了何种变化,有效解决了研制阶段工程更改辨识问题。

(4)DELMIA中的产品数据元素迭代周期取决于设计数据推送的周期(最短可以只相差1天),由于DELMIA是直连VPM的电子仓库以读取产品设计模型,在DELMIA中查看具体产品模型时,可直接看到当前产品的最新状态设计模型,最大程度实现设计与制造的并行协同研发模式。

1 基于成熟度的高度并行工艺设计原理

1.1 现有基于成熟度的业务模式研究

设计制造并行的前提是产品设计的成熟度控制,明确划分出工艺及工装等部门的介入时机,让所有的工作可以有序开展。产品成熟度是参照国际先进模式,以产品成熟度为依据,通过在设计环节建立成熟度阶段划分标准,将工装、工艺设计等传统在设计下游完成的工作提前到设计过程来进行协同研发^[7]。

国内典型的成熟度控制如图1所示,MA1~MA7共7个成熟度,当产品成熟度处于MA1~MA3之间时,工艺部门开展工艺总方案规划工作;当产品成熟度提升至MA3,工艺部门和设计部门开始进行联合工艺性审查;当成熟度提升到MA4时,工艺部门确定工艺总方案,完成大型装配工装及长周期工装的申请,工装部门制定工装总体规划,根据工装申请进行备料选取;当成熟度提升到MA5时,工艺部门进行工艺补充定义、空隙协调等工作,工装部门开展大型装配工装、长周期工装设计准备;当成熟度提升到MA6时,产品冻结;当成熟度提升到MA7时,产品正式发图(在MA1~MA6制造单位都是到设计所查看产品模型并进行系统外的规划、准备,只有在MA7正式发图后才能拿到设计模型),供制造厂工艺部门全面开始工艺设计,进行零件制造工装、中小型

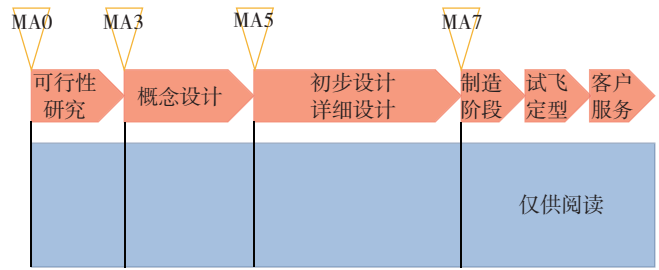


图1 产品设计7个成熟度定义

Fig.1 Seven maturity definitions of product design

装配工装申请,工装部门开始零件制造工装、中小型装配工装的设计。

1.2 高度并行下的业务模式分析

在新的高度并行业务模式下,制造部门以产品成熟度作为并行协同工作的驱动点,对设计数据进行工艺性审查,根据不同成熟度阶段的设计信息,提前介入了解设计的结构、材料、标准件和成品选用、技术条件、数字模型,并向设计部门提出改进要求:一方面针对设计构型及各专业制造信息进行审查^[8];另一方面向设计部门提出定位孔、装配孔、工具孔等工艺补充定义。经过工艺性审查、工艺补充信息贯彻,在设计数据比较稳定的基础上,通过工艺规划及仿真验证制定装配协调方案、工艺装备申请、装配顺序确定等工作,工艺设计数据完成后提交协同平台审签并向制造系统发放^[9],如图2所示。

以下划分为在固有经验的基础上重新划定的成熟度阶段工作,重新定义每个阶段内产品设计、工艺设计、工装设计在高度并行模式下开展联合设计的过程。

(1)成熟度MA1阶段:产品设计部门主要进行气动布局确定、大型设备、位置受限设备位置的确定、主要协调(点、线、面)、基本组成及各设备基本外形的确认;工艺部门主要开展飞机总体联合设计定义,启动研制工艺总方案的编制工作、工艺数模顶层种类层搭建,根据制造厂的生产组织形式及产品设计推送的设计数据构建顶层MBOM生产组织结构,同时考虑新的工艺形式,进行初期工位规划,工装部门开展工装结构树管理层搭建。

(2)成熟度MA2阶段:产品设计部门主要进行飞机外形设计,理论外形在本阶段90%确定,主要承力框、梁位置确定,各种机械接口确定且设备主题外形确定,接口确定或主要开孔初步定义完成,系统件设计90%完成,设计分离面顶层确认(CI以上层)。在这里CI定义为配置单元,指带有配置(有效性信息)的最小设计单元。采用配置单元层的意义是在产品设计过程中通过设计与工艺的多次沟通、协调,避免在制造环节中一个

MA1	MA2	MA3	MA4	MA5	MA6	MA7		
		工艺路线		工艺路线		工艺路线		
		三维装配工艺设计						
		工艺数模顶层	工艺数模设计					
		工装顶层	工装设计					
		检验检测						

图2 高度并行模式

Fig.2 Highly parallel model

配置单元在多个站位中进行装配的现象。

本阶段制造单位工艺部门主要进行的是顶层工艺规划工作,明确制造单位各生产车间固有及新建站位,根据产品设计对 CI 及生产结构定义,进行详细的站位划分,1 个站位对应 1 个或者多个 CI (对于特殊站位,如检验、喷漆也存在无 CI 的情况),并在三维界面将产品 CI 分配到对应站位上,此时 MBOM 顶层划分完成;依据同步的产品结构,进一步进行装配孔、定位孔的间隙协调,车间工艺根据 MBOM 的站位构建结果及同步的产品设计模型,提出大型装配工装、长周期工装申请(此处申请单仅描述初步需求,不带技术条件),过程如图 3 所示。

工装设计部门根据收到的工装申请单进行大型装配工装、长周期工装规划,基于产品设计模型的外形,规划进行标准件选取、框架材料类型、规格选取,进行框架材料用料估算,采购清单及计划提出。

(3)成熟度 MA3 阶段:本阶段产品设计部门主要进行飞机骨架及产品细节设计,模型初步冻结进行工艺审查工作。工艺部门与产品设计部门联合开展基于 DUM 数字样机的工艺审查工作,进行可制造性、合理性

审查分析。

工艺部门基于同步的产品模型,分析产品零组件状态,基于分工原则进行工艺路线分工信息设计,产品的设计状态(VPM 成熟度控制是根据设计状态 In Work、Approved、Release 扩充定义而来,所以也会自动同步到 DELMIA 中)会自动同步产品设计的定义。

工艺部门根据工艺路线设计结果开展详细零件工艺设计过程,即 FO 编制过程。工艺部门还需划分重点需要仿真的 CI,为后面的阶段进行装配仿真做准备,同时提出零件工装及中小型装配工装申请单。

此时,产品设计部门已经进行到产品细节设计阶段,工艺部门根据 MBOM 工位的构建结果,参考分配的 CI 产品三维模型,提出长周期、大型装配工装的技术条件,同时也提出中小型工装及零件制造工装的工装申请单、技术条件。工装设计部门开展大型装配工装、长周期工装设计工作,主要为主体框架、底盘设计,主要定位压紧结构设计,关键成品件选型。

(4)成熟度 MA4 阶段:本阶段产品模型仍然还处于工艺审查模型冻结中,产品设计进行生产材料设计。工艺部门仍然进行路线分工设计、零件工艺 FO 设计,同时编制各种协调图表(主要指加工、钣金)进行加工仿真验证。提出工艺模型申请单,开展工艺模型设计。工装设计部门主要是继续进行长周期、大型装配型架设计,开始开展零件工装及中小型工装设计。

(5)成熟度 MA5 阶段:本阶段产品设计主要处理协调问题,设计模型迭代修改完善。同时,本阶段也是工艺部门进行详细工艺设计任务最重的阶段,具体要开展装配指令设计、详细工步设计、关键 CI 及其工位所属 CI 进行装配仿真验证和优化,开展 3D AO 编制工作,如图 4 所示,工艺人员还需进行装配工艺协调图表、标工品种表、标工技术条件等,进行装配协调方案确认。

工装设计部门仍继续进行大型装配工装、长周期工

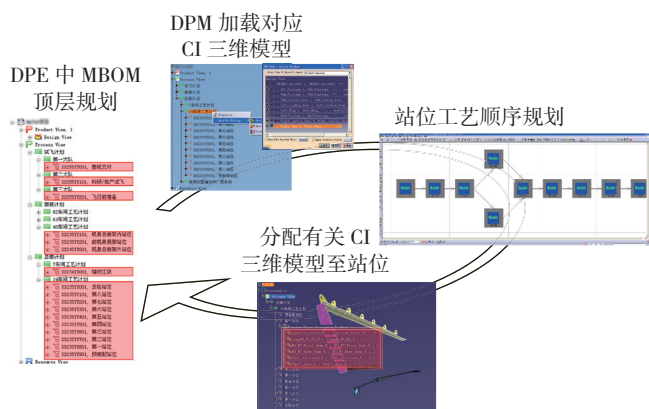


图3 顶层MBOM设计

Fig.3 Top-level MBOM design

装设计、零件制造工装及中小型工装设计,并需将设计结果通过集成同步给 DELMIA 工艺系统(在 DELMIA 系统中仅关联顶图号,工装迭代修改时不影响)。

(6)成熟度 MA6 阶段:本阶段产品设计部门、工艺设计部门、工装设计部门主要进行的工作都是完善设计结果,后两个部门在根据设计更改的同时,还需进行工艺及工装自身的更改完善。

(7)成熟度 MA7 阶段:本阶段产品设计部门进行模型冻结,提交给 Windchill,工艺设计部门、工装设计部门迭代修改完善,工艺设计结果主要包含 MBOM 结构、构型配置信息、三维装配指令、工艺规程(指令的主要文本信息)、三维指导仿真,打包提交给 Windchill。

2 高度并行研发模式的支撑环境

2.1 基于VPM-Windchill-DELMIA集成应用环境

基于 VPM-Windchill-DELMIA 的并行模式,产品数据只有达到了成熟度提升时才进行发放,工艺设计人员分阶段拿到模型并开展工作。在实际操作中,各大主机厂基本都是 MA7 之前做工艺路线及装配工艺准备,只有 MA7 之后才全面开展装配工艺设计工作,并行程

度相对较低;同时由于异构系统,VPM 的数据传递到 Windchill 中,空间矩阵的准确解析不准导致的飞件(装配位置错误、约束关系丢失)频发,ER 模型连接件的展开难等问题一直无法很好地解决。

2.2 基于VPM-DELMIA高度并行集成应用环境

采用 1.2 小节高度并行的业务模式和成熟度划分



图4 具体工艺设计
Fig.4 Specific process design



图5 VPM与DELMIA数据传递
Fig.5 VPM and DELMIA data transfer

模式		MA1	MA2	MA3	MA4	MA5	MA6	MA7
传统模式	工艺处	联合定义	联合定义	开始工艺总方案	确定工艺总方案	工艺补充定义	正式介入工艺审查	开展工艺设计
	工装				工装总体规划	大型、长周期工装设计	零件、装配工装设计	零件、装配工装设计
新模式评估	工艺处	联合定义工艺数模顶层搭建	工位层划分完成,分派其 CI	开展工艺审查、路线预分工,开始进行零件工艺设计	零件工艺设计、路线分工确认	AO 及工步设计,三维装配指令,仿真,协调图表,协调方案	落实设计更改	落实设计更改, MBOM 结构发放, 工艺数据包发放
	工装	TBOM 管理层搭建	大型装配、长周期工装申请	大型装配、长周期工装设计,其他工装申请	零件、中小型装配工装设计	落实设计更改, TBOM 推送	落实设计更改	落实设计更改

图6 传统模式与新模式
Fig.6 Traditional model and new model

方法,整个设计制造协同过程更加紧密(包括产品的构型管理、成熟度管理等),同时也对支撑协同研制的系统集成性和交互性提出了更高要求。通过VPM与DELMIA的直连集成,将产品设计部门VPM服务器数据直接推送到制造厂DELMIA服务器,如图5所示,制造厂工艺设计人员基于VPM+DELMIA环境开展工艺设计,有效保证数据传递的完整性、准确性和及时性,并可以将设计过程中的构型信息(有效性信息)也一并传递到工艺部门,工艺人员进行工艺设计时,在设计有效性的基础上进行工艺有效性配置,实现工艺有效性的管理。

利用VPM与DELMIA两者之间的内在集成技术,实现VPM-DPE-DPM的数据流传递与工艺设计,从根本上杜绝了产品模型经过异构系统导入导出所造成的坐标漂移、约束丢失、构型信息丢失等现象,确保了基于单一数据源开展产品设计与工艺设计。

工艺设计人员以固定周期同步产品设计的数据,按成熟度划分定义的制造并行工作内容开展工艺设计活动,考虑到增量数据的大小,制定合理的同步时间。一般来讲,以每天增量同步一次数据为最佳,同时建议打开VPM的自动生成Cgr开关,可以非常显著地减少同步时间。

在产品的并行研发阶段,传统模式数据需要流动过VPM-Windchill-DELMIA 3个不同原厂商的异构系统,新模式只需要流动过VPM-DELMIA两个同一原厂商系统,只要进行少量的集成工作完成部分顶层的审签(如顶层MBOM)即可,有效减少了在研制阶段数据的传递环节,同时也解决了异构系统带来的集成难问题(异构系统的集成由于内在数据逻辑不同,无法从数据底层实现全面完整的集成),有效提早工艺及制造相关活动的介入时间^[10],如图6所示。

在过渡到正式发图阶段之后,所有的有效数据的审签和发放仍要由Windchill管控。本文旨在说明并行阶段,正式发图阶段诸多的系统数据交互、集成等不在此论述。

3 结束语

通过研究基于产品成熟度的设计制造高度并行研发模式,归纳梳理整个业务流程,构建出产品设计制造高度并行研发平台的原型系统。整体规划飞机设计制造并行关联设计机制,支持基于MBD的设计制造一体化模式的构建,满足基于产品设计模块化的要求,减少制造单位的生产准备时间,实现新形势下飞机装配制造并行能力的提升,同时也为国内飞机制造业实现数字化设计、制造一体化的目标提供一定的技术思路 and

实现途径。

参考文献

- [1] 许旭东,陈嵩,毕利文,等.飞机数字化装配技术[J].航空制造技术,2008(14):48-50.
XU Xudong, CHEN Song, BI Liwen, et al. Digital assembly technology for aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008(14):48-50.
- [2] 景武,赵所,刘春晓.基于DELMIA的飞机三维装配工艺设计与仿真[J].航空制造技术,2012(12):80-86.
JING Wu, ZHAO Suo, LIU Chunxiao. 3D aircraft assembly process design and simulation based on DELMIA[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012(12):80-86.
- [3] 许旭东,毕利文,姚定.虚拟装配技术改变飞机制造流程[J].航空制造技术,2009(11):45-47.
XU Xudong, BI Liwen, YAO Ding. Virtual assembly technology changes aircraft manufacturing flow[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(11):45-47.
- [4] 胡保华,闻立波,杨根军,等.基于MBD的三维数字化装配工艺设计及现场可视化技术应用[J].航空制造技术,2011(22):74-78.
HU Baohua, WEN Libo, YANG Genjun, et al. MBD-based three-dimensional digital assembly process design[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011(22):74-78.
- [5] 惠巍,王彦,陶剑,等.航空制造领域中三维工艺技术的应用研究[J].航空制造技术,2013,(13):43-46.
HUI Wei, WANG Yan, TAO Jan, et al. Application of 3D processing technology in aeronautical manufacturing industry[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(13):43-46.
- [6] 胡保华,梁泽荣,叶阳,等.大飞机三维工艺布局技术应用研究[J].航空制造技术,2013(22):84-86.
HU Baohua, LIANG Zerong, YE Yang, et al. Large aircraft three-dimensional process layout techniques applied research[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(22):84-86.
- [7] 陶剑,范玉清.成熟度在飞机研制一体化流程的应用研究[J].北京航空航天大学学报,2006,32(9):1117-1120.
TAO Jan, FAN Yuqing. Study and application of maturity in the development of aircraft integrate flow[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2006, 32(9):1117-1120.
- [8] JIN Y, CURRENT R, BUTTERFIELD J, et al. Automated assembly time analysis using a digital knowledge based approach[C]. The 26th Congress of International Council of the Aeronautical Sciences, Alaska Anchorage, 2008:14-19.
- [9] MCEWAN W, BUTTERFIELD J, PRICE M, et al. Development of a digital methodology for composite process & manufacture in aerospace assemblies[C]. The 10th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations(ATIO) Conference, Fort Worth, Texas, 2010: 13-15.
- [10] MAVRIKIOS D, KARABATSOU V, ALEXOPOULOS K, et al. A virtual reality based paradigm for human-oriented design for maintainability in aircraft development[C]. The 7th AIAA Aviation Technology, Integration and operations Conference, Belfast, England, 2007: 18-20.

(责编 古系)