

基于 VPM 的并行工程在飞机研制过程中的研究初探

Initial Research of Concurrent Engineering Based on VPM in Aircraft Production

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 孙 炜 许旭东 余志强



孙 炜

航空宇航制造工程硕士,工程师,现任职于成都飞机工业(集团)有限责任公司信息技术部,从事制造业信息化工作。曾参与民机转包生产建模、钣金有限元仿真系统开发、VPM 系统开发、CAPP 系统开发、MPM 系统开发等多项工作,获得集团级科技成果 1 项,公司级科技成果 2 项,专利 1 项。

飞机研制具有技术难度大、质量要求高、涉及专业多、周期时间短等特点,尤其是对于全新研制的飞机来说,产品设计、工艺设计和生产准备

本文介绍了并行工程与成熟度的概念以及国内现有飞机设计/制造异地协同模式,在此基础上,提出了一种基于 VPM 的设计/制造并行工程模式,该模式通过成熟度的划分与升降级控制,实现了产品设计、工艺设计与工装设计三者并行协同,从而缩短了整个产品研制周期,并能从根本上解决厂所分离模式下导致的跨平台异构系统间数据迁移所带来的隐患。

的工作量很大,按照传统的串行研制模式已经难以满足现代飞机研制的进度要求,必须进行研制模式的变革与创新^[1]。随着全球经济一体化进程的不断加快,市场竞争日趋激烈,数字化、信息化技术飞速发展,企业竞争的重点不再仅仅局限在产品本身,而已经转移到了企业组织结构、运营机制等流程上来,因此飞机研制方式也正在从以产品为中心向以过程为中心的模式转变^[2]。

目前,国内各主要型号项目均已采用了异地协同研制模式,通过基线控制实现了从设计端到制造端的全过程管控,并通过预发放形式实现了设计数据的提前发放,为下游的工艺设计和生产准备争取了宝贵时间,从

而缩短了总的研制周期。但是,对于设计制造一体化的综合性航空企业来说,由于其本身已经具备了独立的产品研发能力,因此这种厂所异地协同模式或许并不是最佳的应用途径,至少从并行工程的应用深度来看,仍有较大潜力可挖。鉴于此,本文提出了一种基于 VPM 的飞机设计/制造并行工程模式,在目前采用 VPM 进行产品设计的主流环境下,该模式能够让制造单位基于 VPM 提前访问产品数据,并根据成熟度开展相应工艺设计与工装设计工作,从而更加有效地缩短产品研制周期。

VPM 简介

ENOVIA V5 VPM 是 法 国

Dassault System 公司 ENOVIA 产品线旗下的一款软件,其主要作用是支持虚拟研发阶段的产品建模与管理,即在产品的总体定义、方案设计、初步设计等阶段实现产品结构管理与关联设计,并通过成熟度控制来实现各专业间的并行协同。

具体来说,VPM 采用的是 C/S (客户端/服务器端)架构,服务器端由 3 部分组成:应用服务、数据库、电子仓库(Vault);客户端主要存在两种应用模式:VPM Classic Client 与 VPM Navigator,前者包括项目管理、更改管理、内容管理、生命周期管理、供应链管理等模块,后者作为 CATIA 的一个功能模块内嵌在 CATIA 环境中实现在线关联设计^[3]。见图 1。

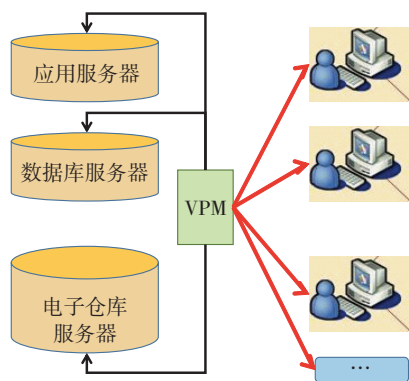


图1 VPM基础构架

波音公司在波音 787 项目中通过应用 VPM,布置了超过 3000 套节点,形成了波音公司及其供应商从流程、系统、培训、架构、软件到支持等全方位的解决方案,实现了全球设计合作伙伴与供应链的有序链接,覆盖了从初步设计、详细设计、制造、装配、运行和服务的全生命周期各阶段内部和阶段之间的并行协同过程,并使 B-787 不同构型的产品研发缩短了近 2 年的时间,减少了约 15%~40% 的设计成本^[4]。

并行工程与成熟度

并行工程(Concurrent Engineering)是集中地、并行地设计产品及相关过程(包括制造过程和支

持过程)的系统方法。这种方法要求从一开始就考虑产品在整个生命周期中从概念形成到产品报废的所有因素,包括质量、成本、进度计划和用户要求。并行工程的目标是为了提高质量、降低成本、缩短研制周期和上市时间,它强调产品设计与工艺设计、生产准备、采购、生产等活动并行交叉进行,同时更加强调系统集成与整体优化^[5]。

成熟度(Maturity)是对产品数据完成情况和详细程度的描述,并且将达到一定技术状态的产品数据(包括产品结构信息、几何信息、工艺信息、分析结果、技术说明和检测结果等)提供给用户,以便后续工作顺利开展。在数字化飞机产品研制的业务流程中,为产品数据的对象及其关系赋予成熟度标识,可以反映该对象从设计到发布的进展情况,为相关工作的并行协同提供依据。通过定义各级成熟度,可以对产品数据的完成情况进行计划和管理,为产品研制流程中的里程碑节点控制提供依据;通过建立成熟度管理和控制规则,可以获得产品数据的完整技术状态描述,确保相应制造工艺技术状态的有效衔接和控制。

按照对象的粒度等级,成熟度通常被分为产品级成熟度(Product Maturity)与零件级成熟度(Detail Maturity),而针对零件级成熟度而言,按照产品在设计过程与制造过程两个阶段所产生的数据划分,成熟度又可被分为设计数据成熟度与制造数据成熟度,其中每一类数据都包含了模型和文档两种对象数据。通过这两次划分,产品数据从无到有的整个过程都能够得到成熟度的有效约束与管控,从而保证了数据的正确性、唯一性与完备性。

国内现有飞机设计/制造异地协同模式

目前,国内各主要飞机设计单

位都已经基于 VPM 建立起了自顶向下的产品设计环境,并且部分利用 VPM 的上下文关联技术实现了总体、结构、系统三大专业间的并行设计。在这些单位各自所承担的型号研制任务中,VPM 都扮演了举足轻重的角色,有力地改善了传统串行工作模式一直以来的设计周期长、专业协调难等弊病。

随着应用的不断深入,VPM 中有关审签流程的功能被发现并不能充分适应国内的电子审签要求,尤其是多单位会签的业务功能无法通过 VPM 的 Action 指令得以实现,虽然可以通过自行开发审签系统来弥补这个缺陷,但目前各飞机研制单位均已采用了 PTC 公司的 Windchill 来实现数据发放/接收、工程更改等一系列审签流程。另外,为了确保整个飞机研制过程中的单一数据源,产品结构管理、构型管理、工程更改管理、文档管理等内容也已经部分或全部纳入了 Windchill 中^[6]。因此,在多点异地协同研制的现实条件下,国内现有飞机设计/制造并行工程采用的是基于 Windchill 的跨厂所异地协同模式,设计所与制造厂通过各自的 Windchill 进行产品数据的发放与接收,并且通过流程的跳转与衔接,实现了从设计端的流程启动到制造端的流程终结的一整套闭环过程控制,如图 2 所示。

通过在几个型号项目上的成功应用,上述的基于 Windchill 的跨厂所异地协同模式被证明是与当前厂所分离、异地协同的现实要求相适应的,这种跨平台、跨地域、多组织的松耦合并行工程为实现国内现有飞机设计制造一体化提供了技术支持与保障,从整体上缩短了飞机研制周期,并取得了显著的经济效益。

基于 VPM 的飞机设计/制造并行工程

如前所述,对于设计制造一体化

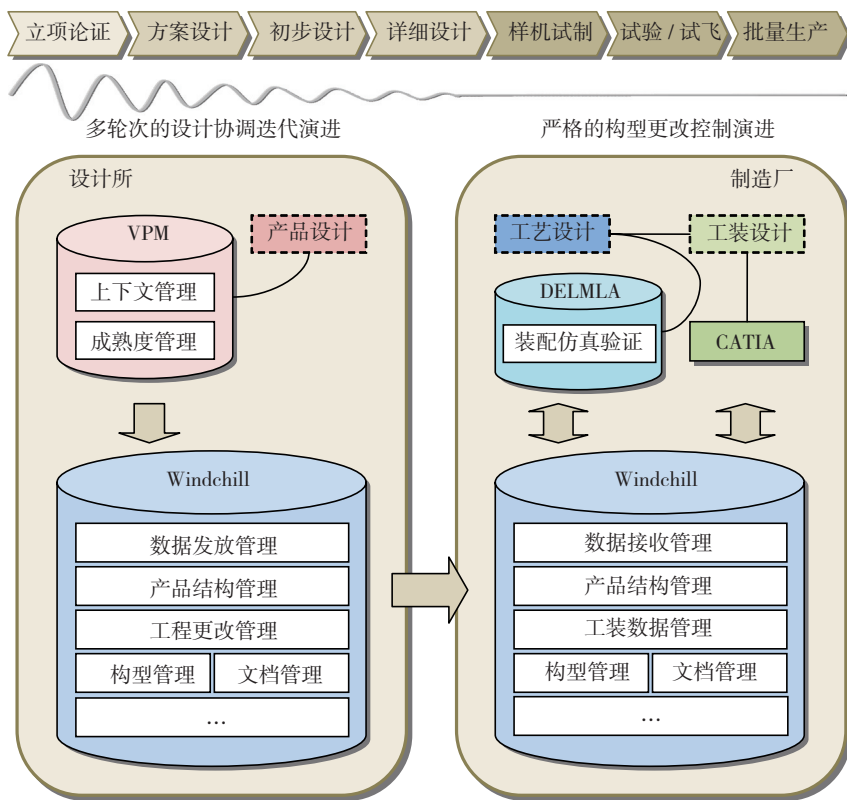


图2 基于Windchill的跨厂所异地协同模式示例

的综合性航空企业来说,由于其本身已经具备了独立的产品研发能力,因此可以考虑在产品设计、工艺设计、工装设计之间开展更早期、更紧密的并行工程,即在产品设计处于初步设计阶段时,工艺设计和工装设计按照一定原则依次介入,并建立与产品数据之间的关联关系。笔者所在的成都飞机工业(集团)有限责任公司是中航工业下属的设计制造一体化的综合性航空企业,在该公司某自主研发项目(以下称“本项目”)的研制过程中,公司内部的设计部门、工艺部门与工装部门按照成熟度理念,将VPM的应用覆盖面从设计阶段延伸至工艺、制造阶段,初步实现了基于VPM的飞机设计/制造并行工程,并取得了预期的良好效果。

1 成熟度的划分与升降级控制

成熟度的划分是开展并行工程的前提条件,根据对象的特点设置成熟度等级并定义各级成熟度所应达到的状态与所应提供的共享数据是

确保各专业实现高效并行协同的基础与保障。对于飞机研制过程而言,从方案设计开始到详细设计结束是整个项目发展的关键时期,也是开展设计/制造并行工程的最重要的时间段与工作范围,因此在本项目中定义了覆盖这3个主要阶段的产品级

成熟度(PM1~PM6),用以描述产品在设计过程中依次达到的各个主要状态,见图3。

从并行工程的角度看,各设计专业主要在产品级成熟度的PM2、PM3、PM4 3个状态开展并行设计,因此,合理制定各专业并行设计的介入点、确定每级成熟度必须提供的共享数据内容就成为了能否高效开展并行设计的关键因素。在本项目中,根据总体、结构、系统三大专业所分别产生的模型数据(在本项目中尚未考虑文档数据的成熟度),划分了各专业的零件级成熟度(M0~M3),其中M0为初始成熟度状态,各专业的M1~M3级成熟度都以各自专业所应交付的模型数据作为共享数据内容,同时也作为达到该级成熟度状态的标志,各专业零件级成熟度示例见表1。

此外,成熟度的升降级控制对于实现高效的并行工程也是必不可少的,良好的成熟度升级与降级规则可以最大限度的削弱设计灵活性与管理严格性二者之间的矛盾。在本项目中,分别定义了成熟度升级与降级的流程,其主要原则有三点:一是只能逐级升降;二是升级可以自行提升但降级必须走审批流程;三是装配节点成熟度级别不能大于子零件

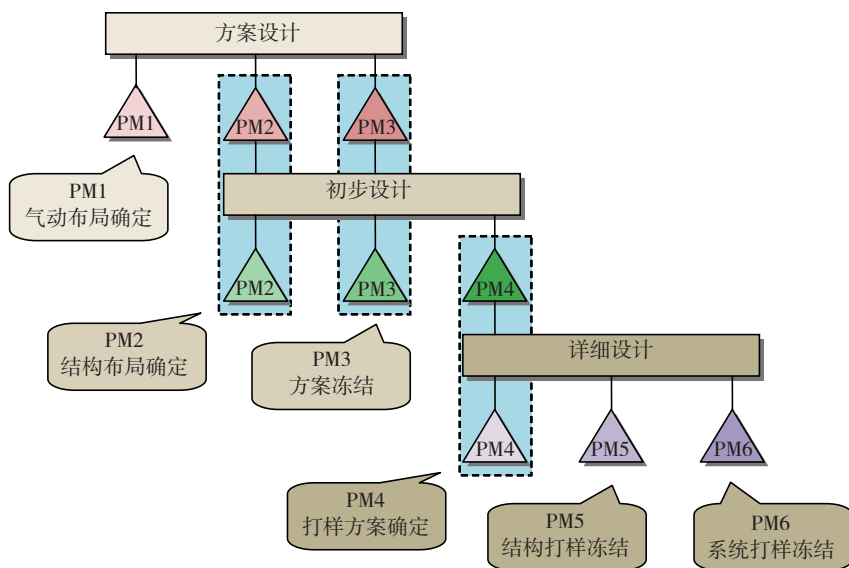


图3 产品级成熟度示例

成熟度级别,见图4。

虽然以各设计专业来区分不同的模型类别并不是唯一的作法,但是由于设计过程中的并行协同是按照专业为单位开展的,因此这种划分方式有助于将成熟度对象与并行工程紧密结合。另外,成熟度升降级的规则也非仅有一家之言,应当按照具体的项目要求来制定详细的约束机制。

2 产品设计、工艺设计与工装设计的并行

表1 各专业零件级成熟度示例

产品成熟度	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6
总体专业成熟度	M1 初步外形数模 初步总体布置数模	M2 外形数模	M3 总体布置数模			
结构专业成熟度		M1 初步结构布置数模	M2 结构布置数模(设计分离面)、初步结构打样数字样机		M3 结构 EBOM	
系统专业成熟度			M1 各系统原理与选材定型方案、初步系统外形数模	M2 系统外形数模、初步系统打样数字样机		M3 系统 EBOM

之所以提出基于 VPM 的设计/制造并行工程理念,是因为当前飞机研制过程的发起端几乎都是在 VPM 中开展工作,根据各设计专业划分的成熟度可以直接为工艺与工装部门的介入提供参考依据,以使设计部门、工艺部门与工装部门基于统一的 VPM 环境开展并行工程:产品设计人员基于 VPM 进行产品在线关联设计;工艺设计人员通过 VPM 提前介入设计过程并远程进行工艺性审查;工装设计人员基于 VPM 进行部分工装与产品的关联设计与更改见图5。

工艺设计与产品设计的并行主要体现在两个方面:一是工艺性审查的提前介入,二是工艺设计与产品设计基于单一数据源进行。工艺是实现产品设计、保证产品质量的重要手段,工艺工作涉及面广、环节多,其中产品的工艺性审查是重要的一环,它对后续的工艺方案制定、工艺路线

划分、工艺文件编制等环节起着关键性的指导作用^[7],因此,工艺性审查的提前介入不但能够缩短产品研制周期,更重要的是能够确保工艺准备工作更加正确高效地进行,见表2。

具体来说,当产品级成熟度达到 PM4 状态即结构专业达到 M2 状态时,结构打样数字样机已经初步确定,此时工艺人员可以进入 VPM 进行工艺性预审查,通过 VPM 内在的消息传递机制与 DMU 圈红审核功能

将预审结果反馈给设计人员,由于成熟度尚未达到结构 EBOM 冻结的状态,设计人员无需经过严格的更改流程便可修改模型,同时工艺人员可以根据预审结果创建初始 PBOM 并最终形成工艺总方案及子方案;当产品级成熟度达到 PM5 状态即结构专业达到 M3 状态时,结构 EBOM 已经确定并放到 Windchill 中,此时工艺人员可以完成工艺性审查的正式审签,同时创建正式 PBOM 并开展装配工艺仿真与相关工艺文件编制。

工艺设计是生产准备工作的第一步,也是连接产品设计与产品制造之间的桥梁,它在很大程度上决定了生产效率和制造成本,因此,工艺设计与产品设计的并行协同可以从某种程度上缩短整个生产准备周期,为后续的生产制造阶段提供宝贵的时间^[8]。在本项目中,利用了 VPM 与 DELMIA 两者之间的内在集成技术,实现了 VPM-DPE-DPM 的数据流传递与工艺设计路线,并且从根本上解

表2 工艺性审查并行示例

产品成熟度	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	结构发图
结构专业成熟度		M1 初步结构布置数模	M2 结构布置数模(设计分离面) 初步结构打样数字样机		M3 结构 EBOM	
工艺性审查(预审查)						

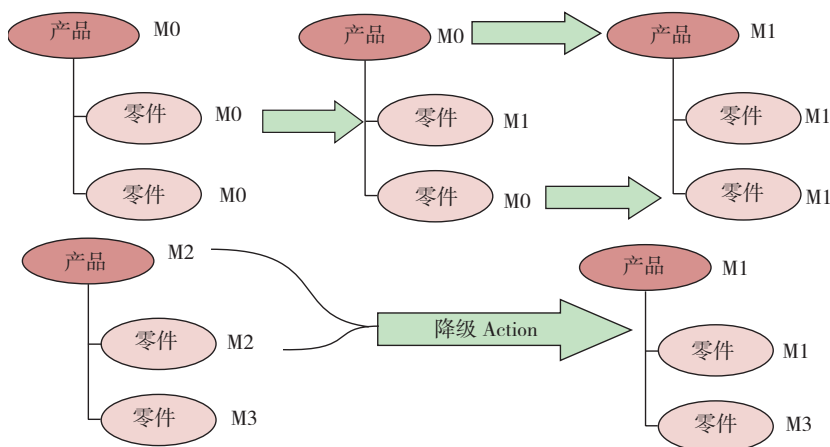


图4 零件级成熟度升降级示例

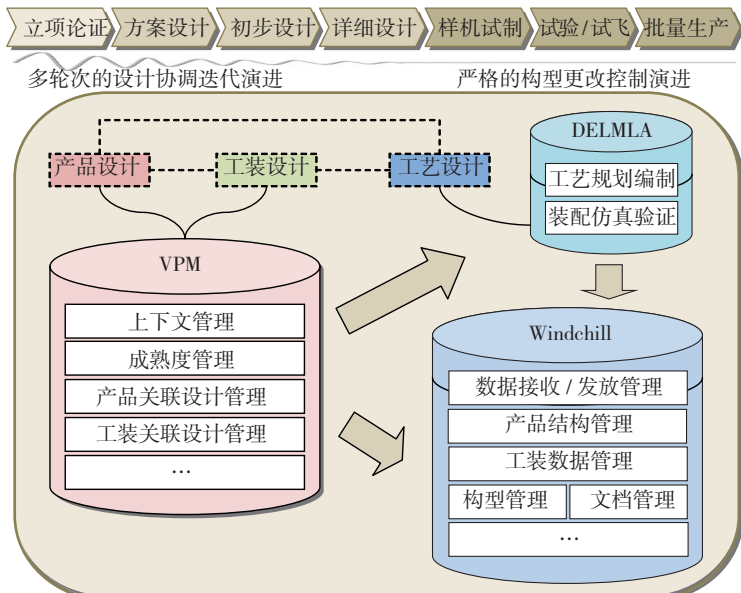


图5 基于VPM的设计/工艺/工装并行模式示例

决了产品模型经过异构系统导入导出所造成的坐标漂移、约束丢失等现象,从而确保了产品设计与工艺设计的单一数据源,见图6。

工装设计与产品设计的并行实质上是工装设计与工艺设计的并行,

由于工艺性审查的提前介入,当产品数据还未正式发放时,已经可以建立工艺模型并进行工装订货申请,但前提是工艺模型必须在VPM中与产品模型一起被有效管理,并且保持二者之间的关联关系。在本项目中,为了

延续已有的工装设计模式,并未保持工装设计与工艺设计的关联关系,仅对大型装配工装和蒙皮拉型类外形工装与产品数据之间的关联设计进行了探索性的应用研究,其他类型工装仍然采用原有模式进行本地

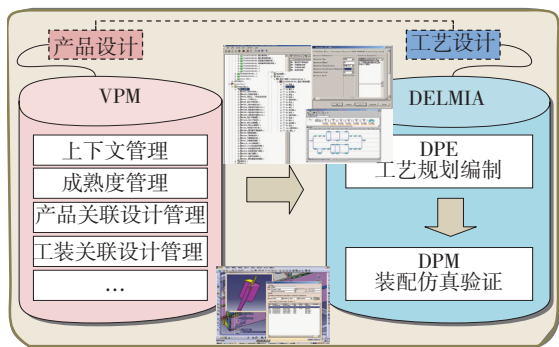


图6 基于VPM-DELMIA的工艺设计模式示例

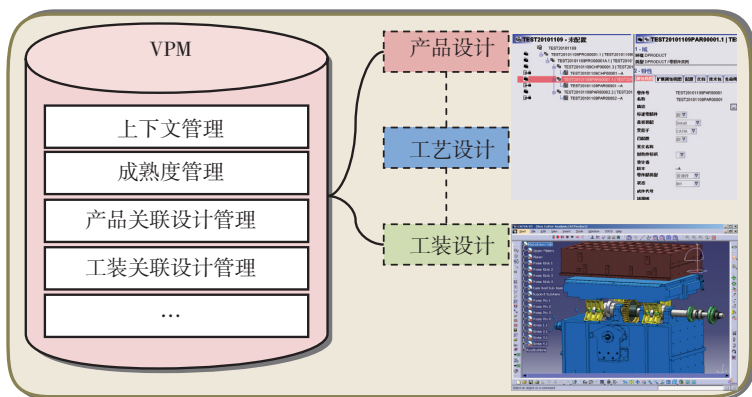


图7 基于VPM的产品设计与工装设计并行模式示例

化设计,见图7。

具体来说,当产品级成熟度达到PM3状态即总体专业达到M3状态时,飞机总体方案已经冻结、设计分离面已经确定,此时工艺人员可以进入VPM进行工艺分离面的划分并对飞机外形进行初步工艺分析,工装人员可以据此初步确定大型装配工装与蒙皮拉型类外形工装的设计方案;当产品级成熟度达到PM4状态即结构专业达到M2状态时,结构打样数字样机已经初步确定,工装人员可以初步确定装配工装的基准孔、基准面与装配形式,并进行上述两类工装的初步设计。由于工装设计与产品设计都基于VPM环境进行,工装数据与产品数据之间建立了关联关系,当产品设计人员接收到工艺人员的审查反馈意见并更改了产品模型时,受此关联的工装模型也会同时得到更新,从而确保了产品设计与工装设计的单一数据源。工装设计完成后,可以采用与产品数据相同的方式导入到Windchill中,并完成相关审签流程。

结束语

本文介绍了并行工程与成熟度的概念以及国内现有飞机设计/制造异地协同模式,在此基础上,提出了一种基于VPM的设计/制造并行工程模式,该模式通过成熟度的划分与升降级控制,实现了产品设计、工艺设计与工装设计三者并行协同,从而缩短了整个产品研制周期,并能从根本上解决厂所分离模式下导致的跨平台异构系统间数据迁移所带来的隐患。通过在某项目上的初步应用,这种并行工程模式被证明适用于设计制造一体化的综合性航空企业,具有一定的理论和实际意义。

(责编 小城)

本文共有参考文献8篇,因篇幅所限未能一一列出,读者如有需要请向本刊编辑部索取。