

# 先进复杂产品研制体系的分析

Analysis of Advanced Complex Product Development

中国航天工程咨询中心 唐 辉 侯俊杰



唐 辉

工程师, 就职于中国航天工程咨询中心信息化总体设计部, 从事制造业信息化方面的咨询和总体设计工作, 参与过综合设计技术领域的科技情报研究工作, 同时担任《数字军工》杂志编辑。

针对新时期大型复杂装备的研制特点, 通过对先进设计技术的跟踪研究, 分析国外复杂产品装备研制的先进设计技术、理论和方法, 并结合典型应用案例深入研究先进设计技术在复杂产品研制中的应用, 以帮助我国军工制造企业更好地理解 and 应

针对新时期大型复杂装备的研制特点, 通过对先进设计技术的跟踪研究, 分析国外复杂产品装备研制的先进设计技术、理论和方法, 并结合典型应用案例深入研究先进设计技术在复杂产品研制中的应用, 以帮助我国军工制造企业更好地理解和应用先进的综合设计技术。

用先进的综合设计技术。通过探索复杂产品研制过程中集成和协同的手段和方法, 为军工复杂产品产品的研制过程中采用新的设计手段和技术进而提高创新设计能力服务。同时, 这也有助于改善我国军工制造企业落后的产品研发模式, 从技术应用的角度为我国军工制造企业提供技术的引导, 并通过进一步研究和应用, 搭建起适应最新技术发展的国防科技工业先进设计技术体系, 满足我国大型复杂装备快速研制和供应的迫切需求。

## 国外先进设计技术应用的典型案例研究

为了全面反映先进的设计技术在国防复杂产品研制中的应用, 本文结合大量的国外研究成果, 通过开展

“一个型号”(洛·马公司的JSF项目)、“一个企业”(波音公司)、“一个行业”(船舶工业)等3个案例的研究, 进一步分析国外军工行业典型产品研制中采用的先进设计技术, 以期研究形成面向军工工业的、以信息技术支撑的先进设计技术体系, 并归纳和总结复杂产品研制的先进设计技术的发展趋势。

### 1 洛·马公司 JSF 的“全球虚拟企业”

作为下一代高性能的军用飞行器研制的JSF项目是美国军方历史上最大的军火采购项目, 总价值大约2000 ~ 4000亿美元。

洛·马公司在JSF项目中采用协同设计制造技术, 应用了包括90项网络软件的系统, 构筑出虚拟开发环境, 使工程人员可以模拟在工装和零件实际制造之前的飞机设计和制造

的各个环节。洛·马公司的 JSF 小组能够调动位于 187 个地点的 80 多个供应商及 4 万多名工作人员为战机研制共同工作。

洛·马公司项目发言人称, JSF 是第一架从一开始就完全实施数字化设计的飞机, 而商用飞机波音 777 不能说是完全实施了数字化。JSF 制造商在数字化技术应用方面创造了先例。完全数字化的方法在节省时间和成本方面产生了巨大效果。

尽管已经有像波音 777 商用飞机这样虚拟设计的例子, 但波音 777 这类项目还需要在各个“设计节点”之间进行繁复的数据文档转移, JSF 的“数字化三维实体设计”意味着世界上参与项目设计的所有设计人员都有权进入设计网页, 虚拟飞机可以用数字进行操纵, 因而使制造商避免了

消分解制造零件的步骤减少了工艺程序, 确保了加工的准确性。利用该网络节省的时间和成本是非常可观的。

由于 JSF 项目提高了系统的整体协同性和信息集成性, 经过验证, 与传统的战斗机开发生产过程相比, 证明了用于 JSF 的加工量可以减少 90%, 制造时间减少 66%, 成本节约 50% 以上。JSF 将减少 50% 的零件和紧固件的设计。取得这些成就的关键是一个公共的数字化产品数据库被贯穿使用在了 JSF 的设计、制造和装配的各个阶段。

## 2 波音公司的数字化研制之路

波音公司的数字化技术应用创造了航空工业上一个又一个的里程碑, 引领着世界航空工业的技术发展趋势, 而波音公司的飞机数字化产品

系的核心技术包括 CAD、CAE、CAPP、PLM/PDM, 以及系统优化技术 MDO 等。其中 CATIA V5 作为飞机设计建模工具可进行零部件设计的数字化预装配, 及早发现零件干涉问题, 降低设计风险。ABAQUS、ANSYS、NASTRAN、FLUENT 等数值分析软件为飞机的结构优化、动力学分析、力学和性能仿真等提供支撑。DELMIA 作为数字化设计和制造解决方案, 主要用于工艺规划和设计, 并可用于工艺设计的验证和仿真。ENOVIA 和 TeamCenter 则作为产品全生命周期的数据管理软件, 保持产品数据的一致性和可跟踪性。

飞机数字化设计/制造/管理一体化技术在波音公司的大型飞机研制过程中取得了显著的成效。波音 777 飞机的研制采用三维数字化定义, 数字化预装配 (Digital Pre-Assembly, DPA) 和并行工程 (Concurrent Engineering, CE), 在世界上第一次实现了无纸设计, 打通了从设计、生产到管理的全数字化信息流, 该飞机从立项到首架交付只花了 4 年半的时间, 比波音 757/767 的研制周期 9 ~ 10 年缩短了 1/2, 用户交货期也从 18 个月缩短到 12 个月, 产品成本降低了 50%, 废品率降低了 80%, 数据错误率降低了 97.9%。

## 3 船舶工业中的数字化技术应用

自 1990 年代中期以来, 随着世界船舶市场的快速发展, 船舶设计技术发生了重大变化, 现代舰船设计技术随着市场的需要和数字技术及计算机技术的发展而发展起来。当前, 信息技术是现代设计的主要特征, 以建立一体化的三维数字模型为核心, 辅以数字样机技术、数字仿真设计、多学科优化设计、并行协同设计等先进设计方法, 已经使舰船设计在设计手段的更新、产品表示方法的改变、工作模式的变化、设计与制造信息一



JSF项目中的“虚拟企业”构型

在制造物理样机时的返工和昂贵的制造成本。JSF 工作小组具有一个环球网络系统, 按照允许的级别进入数字化设计网页, 无论是意大利、挪威、加利福尼亚还是德克萨斯州的工程师和供应商都能进入这个数据库。设计和修改数据可以即时传送, 效率和准确率大大提高。还可以应用数字化数据进行产品加工并能够获得精确的尺寸, 如高精密钻孔, 通过取

开发, 大致经历了 4 个发展阶段: 部件数字样机阶段 (1986 ~ 1992), 代表型号有波音 747-400、波音 767-200、波音 737-500 等; 全机数字样机阶段 (1990 ~ 1995), 代表型号是波音 777 等; 数字化生产方式阶段 (1996 ~ 2003), 代表型号是波音 767-X 等; 虚拟生产方式阶段 (2003 至今), 代表型号是波音 787。

波音公司数字化设计技术体

体化、设计管理水平的提高、组织模式的开放等方面起到了重要的作用。

围绕着“数字化造船”的理念,国外在船舶工业中的数字化技术应用同样广泛而深入。其内涵主要包括数字化设计船舶、数字化管理造船和数字化建造船舶。其中最为基础和关键的便是舰船设计的数字化,通过对典型的舰船型号研制进行研究分析,我们发现舰船设计的关键一方面要从推行 CAD/CAPP/CAE/PDM、数字化样船技术、虚拟仿真设计技术、异地协同设计技术等入手,通过舰船产品全数字化模型的建立,生成满足现代造船模式所需的精确制造信息、精确管理基础信息,为“数字造船、绿色造船”提供技术和信息基础;另一方面要利用计算机和网络技术、数据库技术和信息交换、集成技术,建立统一的基础集成平台,实现系统的应用集成和资源的一体化管理,为产品开发、设计、建造和管理中各种活动间各类信息的集成化应用和安全保障提供支持。并利用信息技术的优势,跨越“时、空、地、部门、个人”的障碍,突破造船企业难于实现有效管理控制的难点,使管理控制实现透明、及时、精确和标准规范化,从而使企业生产资源实现优化配置和物流的有效计划、组织、控制和调整,实现船舶产品全生命周期各环节、各过程的成本和质量管理及

控制。

## 复杂产品研制的先进设计技术体系

通过对以上 3 个不同的层次和角度对国防科技工业的先进设计技术进行分析和总结,力求全面地研究和归纳现阶段国外军工工业中广泛和深入的先进设计技术,分析其组织模式和技术体系,为我国形成军工复杂产品研制的先进设计技术体系服务。

### 1 先进设计技术体系框架组成

通过对上述 3 个案例的数字化设计技术的应用现状研究,总结出复杂产品的数字化设计技术体系框架。大型复杂产品研制的先进设计技术体系结构以协同工作平台为核心,集成各企业相关的产品数据管理系统,通过产品数据在整个协同环境中实现共享和一致性控制,支持主设计/制造企业、型号供应商以及企业、军方、政府等不同角色在整个项目研制过程中协同工作,以提高整个项目的研制效率。

当前,国外先进的复杂产品研制数字化技术应用功能体系结构大致分为 3 个层次:

(1) 底层为计算机支撑环境,包括网络和数据库等为数字化技术应用提供的基础环境。

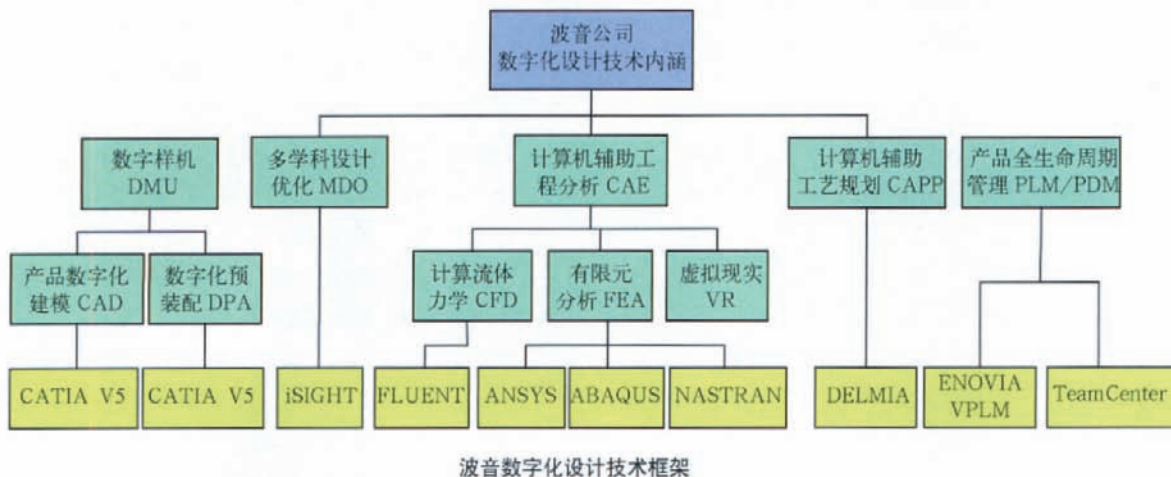
(2) 中间层为协同工作平台。该层是支持异地协同设计制造的核心。

协同工作平台层为多企业联合研制提供基本的协同工具。同时,协同工作平台将提供企业应用集成和数据集成工具,实现协同平台与各企业的企业级产品数据管理系统的紧密集成,实现整个项目成员之间的信息共享与集成。

(3) 顶层为业务应用层,项目参研企业根据所承担的任务类型,各自采用相应的数字化工具进行复杂产品的数字化设计、制造、管理等。

### 2 先进设计技术体系框架的技术分析

CAD/CAE/CAPP/CAM/PDM 等计算机辅助设计及相关技术是数字化设计技术的核心。为了使产品的设计过程更加科学有效,首先,需要采用企业级产品数据管理(PDM)技术控制产品设计中的过程数据和工作流程。其次,通过产品全生命周期的数据管理技术,搭建出一个协同工作平台,支持异地并行设计、协同设计等涉及因特网/企业内部网支持环境下的产品需求定义与建模、产品数据管理、产品数据交换等相关技术。而 CAE 工程分析工具是对产品设计的结构、力学参数进行优化设计,以满足国防复杂产品设计中的功能和性能要求,并可对产品设计进行虚拟试验验证,达到虚拟设计、制造的产品设计方式,近年来,军工行业典型的成功研制已经表明,产



品数字化设计技术已逐渐成为未来产品设计的关键技术。

通过分析和总结,我们归纳出军工行业先进设计技术体系中的关键技术主要包括:数字样机技术、虚拟技术、多学科设计优化技术、产品数据管理技术、并行设计技术、协同设计技术、智能化设计技术等。此外,绿色设计技术虽然目前还不能称其为复杂产品研制的关键技术,但随着环保问题的逐渐国际化,各个国家也逐渐在军工工业发展中重视绿色设计技术。

### 3 先进设计技术体系的协同工作平台

协同工作平台的建立和使用可充分发挥各合作伙伴的技术优势和资源,通过协同工作平台,能够有效地整合并利用合作伙伴的各种知识和信息资源,把应用于产品和过程的整个生命周期的工具和资源都集成在一起,促进复杂产品的协同研制。平台的建立可以支持异地多企业之间的高效信息共享和集成、流程的组织和管理、型号项目进度/质量的控制和协同工作,将设计所、合作伙伴、供应商、用户等紧密地联系在一起,使处于异地、异构计算机环境地复杂产品设计人员、合作伙伴、供应商等相关人员共享各自需要地产品信息,支持整个产品生命周期中协同开发、生产和管理。支持异地多企业联合研制的协同工作平台具备的主要功能包括:支持采用联邦式数据模型的分布式产品定义及异地信息共享;大型复杂地项目管理,异地协同工作,异地 workflow 管理,异构信息可视化,异构信息系统应用集成。

### 4 未来先进设计技术体系发展

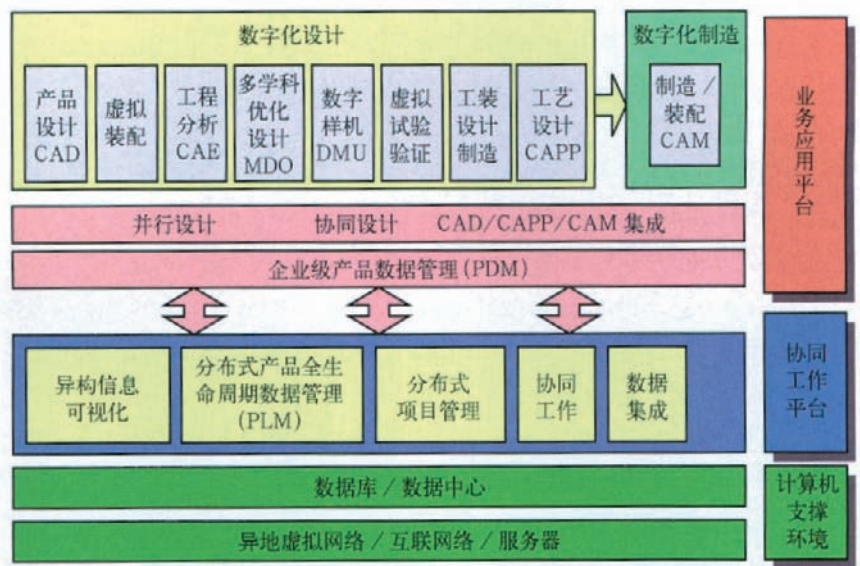
近年来,先进设计技术在产品及相关技术的集成方面取得了长足进步,其发展特点是借助信息技术的飞速发展,通过并行工程,建立协同设计平台,在 CAD/CAPP/CAM 的基础上,利用工程数据库,针对不同

目标对象进行多学科优化设计、DFx 设计、快速原型设计、全寿命周期设计。所追求的目标为产品开发人员从一开始就考虑到产品全寿命周期内各个阶段的因素(如功能、制造、装配、质量、成本、维护和用户需求等),强调各部门的协同工作,通过建立各决策者之间有效的信息交流与通信机制,综合考虑各相关因素的影响,使后续环节中可能出现的问题在设计的前期阶段就被发现,并得以解决,从而使产品在设计阶段便具有良

化和智能化的设计研究,面向产品寿命周期全过程,协同仿真分析,设计管理。

### 结束语

本文针对现代复杂产品研制过程中涉及机、电、液、控等多学科、多专业以及复杂程度高的特点,以典型复杂产品研制为背景,探讨和研究了国外国防先进设计技术和设计模式的应用,涉及数字样机技术、数字仿真技术、多学科综合优化技术、协



先进设计技术体系框架

好的可制造性、可装配性、可靠性、可维护性及可回收再生性等特性,最大限度地减少返工,缩短设计、生产准备和制造时间并大大降低产品投入使用后的维修和保障费用。

通过对典型的复杂产品研制进行研究分析,可看出当前先进的复杂产品研制技术就是利用 CAD/CAE/CAPP/PDM、虚拟现实等技术,实现产品设计手段和设计过程的数字化,缩短产品开发周期,提高企业的产品研发能力。其关键技术包括:数字化设计流程、标准和规范体系研究,建立复杂产品三维设计环境,快速三维数字设计建模,数据库框架和海量信息处理,并行化、最优

同设计、等设计技术,并以美国波音公司、洛·马公司以及舰船的先进设计等为典型案例,重点跟踪研究了国外先进设计技术和设计模式,分析了国外军工行业典型复杂产品研制中采用的先进设计技术,深入探讨了复杂产品快速研制的综合设计技术、方法、模式,并从复杂产品研制过程和技术发展趋势入手,研究形成了面向军工工业的、以信息技术支撑的先进设计技术体系。

该体系的建立将有助于促进各军工企业应用该研究成果,为提高企业自身设计创新能力提供技术支持。

(责编 依然)