

基于模型的技术在航空产品研制中的应用研究

Application of Model-Based Technology in Aviation Product Development

金航数码科技有限责任公司 陶 剑 李媛姗



陶 剑

工学博士,金航数码科技有限责任公司工程信息化部高级工程师,主要从事航空产品全生命周期数字化协同研制及管理技术的研究。

随着全球航空业的迅速发展,先进航空制造企业竞相建立基于模型的技术理论和应用体系来适应现代航空产品研制的动态变化过程,达到提高研制效率、质量和降低成本的目的。基于模型的技术主要包括:以共享的集成和协同环境为主的 MBE (Model Based Enterprise, MBE)、以数字化设计为主的 MBD (Model Based Definition, MBD) 和以数字化制造为

基于模型的技术是通过企业中产品、信息和过程等多种模型的建立及业务链、数据链、供应链等的集成,构建统一的协同环境和建模标准,达到研制信息传递的无纸化、自动化和可视化,实现更高应用水平的系统集成和数据共享的技术。

主的 MBI (Model-Based Instructions, MBI)。航空产品结构复杂、研制过程严谨、数据量大,带来了三维数字化业务过程中产品数据如何定义、传递及使用等问题,这些是全生命周期业务过程能否顺利执行的根本所在。基于模型的技术作为设计、制造一体化研制的新的应用手段,在 MBE 中对整个企业的数字化集成和协同环境进行规划,在 MBD 中对产品的工程数据进行定义,在 MBI 中对制造现场工作和管理的相关信息进行综合,但是如何使用基于模型的技术将产品的设计、制造和检测等离散的信息进行“数字化”处理,并通过共享的协同环境,最终生成能够指导生产现场制造、装配和检测工作的数字化作业指导书,当前国内对此过程并不清晰。本文依据波音公司基于模型技术的相关思想,对在 MBE 环境下,从 MBD 到 MBI 的全业务过程无缝

转化,实现产品由虚拟设计向现实生产的转变,进行了深入的研究。

基于模型的技术概述

基于模型的技术是通过企业中产品、信息和过程等多种模型的建立及业务链、数据链、供应链等的集成,构建统一的协同环境和建模标准,达到研制信息传递的无纸化、自动化和可视化,实现更高应用水平的系统集成和数据共享的技术。

1 基于模型的企业(MBE)

MBE^[1]是一种制造实体,它采用建模与仿真技术对其设计、制造、产品支持的全部技术的和业务的流程进行彻底的改进、无缝的集成以及战略的管理;利用产品和过程模型来定义、执行、控制和管理企业的全部过程;并采用科学的模拟与分析工具,在产品生命周期的每一步做出最佳决策,从根本上减少产品创新、开

发、制造和支持的时间和成本。对于 MBE 的定义有很多种,如:被美国称为“下一代制造技术”的 MBE^[1] 和美国陆军实验室提出的仅关注贯穿在产品生命周期中的 MBD 数字线的 MBE^[2] (类似“下一代制造技术” MBE 的核心内容——集成的产品实现)。MBE 典型架构如图 1 (a)^[3] 所示,它是基于多种模型的,主要包括:基于模型的工程(Model Based Engineering, MBe)、基于模型的制造(Model Based Manufacturing, MBm)、基于模型的支持(Model Based

艺(装)、加工装配、检测等信息的高度集成,三维模型可直接作为下游研制工作开展的依据,开创了航空产品三维数字化研制新模式。MBD 的应用离不开集成和协同环境,产品信息的表达、传递、控制和对产品信息的理解和执行,都必须借助大量信息系统和数字化工具完成,所以 MBD 不是一蹴而就的,波音公司 MBD 应用也是在波音 777~787 等型号研制中逐步推进的。

3 基于模型的作业指导书

MBI^[5] 是 MBE 中 MBm (包括基

于模型的虚拟制造与实际制造等过程的内容)的顶尖成果,是 MBD 在制造领域的落地,狭义 MBI 仅指三维电子化的作业指导书,是将原二维作业指导书(工程说明书、制造、检验等信息)通过增加图形、动画、视频等功能将其三维可视化,使其易于理解和使用,以提高生产效率和质量。广义 MBI 不仅是三维静态结果,它还与三维制造过程动态结合,如图 3 所示,即依据 MBD 中信息,通过共享可视化方式开展三维工艺的设计和

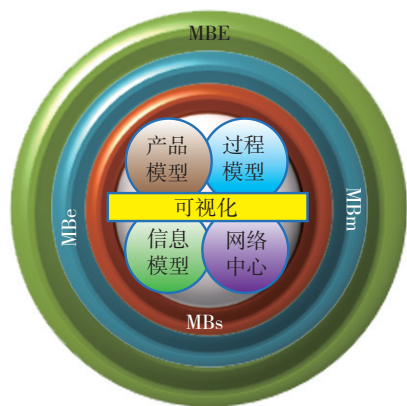
管理,实现三维电子化的作业指导书(操作规程等)和数字化制造过程信息的集成,并采集制造现场的信息与反馈,生成 MBI。目前,MBI 已经应用于美国战神航天飞行器的数字化开发和波音 C130 运输机电子系统改造项目,其中 C130 电子系统改造仅采用 MBI 就比传统方法减少装配工时 57%,成为使用数字化技术直接大幅度减少作业错误和工时,提高可装配性的新案例。

基于模型的技术应用

随着国内航空工业数字化协同研制模式的开展,要求应用基于模型的技术将设计与制造业务统筹考虑,构建 MBE,实现 MBD 虚拟数据向 MBI 应用数据的无缝转化,如图 4 所示。

1 设计阶段 MBD 数据的定义

MBD 的核心是定义出能为下游各业务环节所使用的产品信息,它既是实现数字化产品定义的方法,也是衡量企业数字化应用水平的基础指标。



(a) MBE 的体系架构

第 0 级	· 设计制造以图纸为中心建模 · 传递方式:二维图纸
第 1 级	· 基于制造的建模 · 传递方式:二维图纸和中性 CAD 模型
第 2 级	· 基于制造的本地 CAD 建模 · 传递方式:二维图纸和本地 CAD 模型
第 3 级	· 基于模型的定义(MBD) · 传递方式:三维注释模型和轻量化视图
第 4 级	· 具有数据管理功能的 MBD · 传递方式:三维注释模型、PLM 的轻量化视图
第 5 级	· 具备自动技术数据包的 MBD · 传递方式:数字化产品定义包和 TDP
第 6 级	· 具有 TDP 和被企业即时访问的 MBD · 传递方式:数字化产品定义包和网络 TDP

(b) 基于单一产品模型的成熟度指标

图 1 MBE 的体系架构及基于单一产品模型的成熟度指标

Sustainment, MBs) 以及产品模型、过程模型、信息模型、网络(传输)中心,(全过程)可视化等。作为一种涉及范围广、内容多的新型结构的实体企业,MBE 目前还处于研究阶段,没有成熟的评估标准。图 1 (b) 是美国陆军实验室基于单个模型(产品模型)提出的 MBE 七级成熟度状态评估标准^[2](包括 6 个方面 21 项指标)。

2 基于模型的定义(MBD)

MBD^[4] 是 MBE 中 MBe (包括基于模型的设计、仿真与试验等工程研制内容)在产品中的实现基础,它将设计与制造信息共同定义到三维数模中,如图 2 所示,实现设计、工

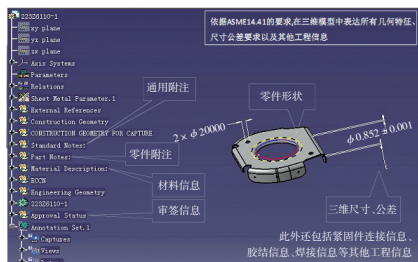


图 2 MBD 数字化模型

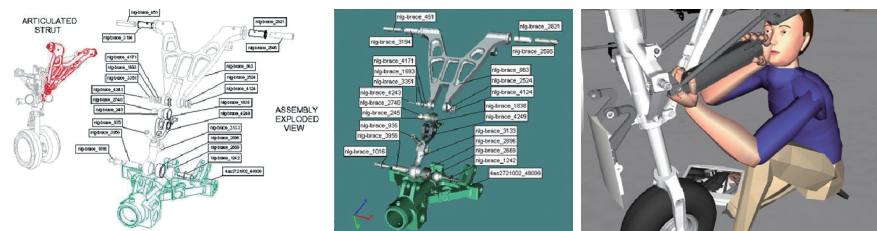


图 3 从二维到三维 MBI 应用示意图

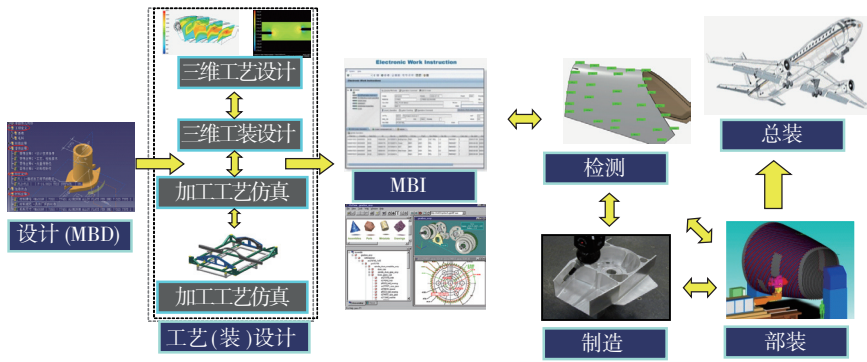


图4 从MBD到MBI的业务过程示意图

(1)数据的完整性。

MBD是面向全生命周期数据管理的先进定义技术,它以三维模型为核心的方式组织产品的相关信息,如:几何信息(数模、尺寸和基准等)、非几何信息(材料、关键特性和注释等),以实现单一的产品数据源。如图5所示,在MBD数据定义过程中,既要保证定义信息的完整,又要尽量精简标注内容。

(2)数据的规范性。

MBD数据是产品信息完整、精确的“数字化”表达,所有与研制相关的标准工作方法、指令都要求统一编码,并由计算机管理,这样信息系统和数字化工具就能自动识别MBD数据的内容,以满足产品研制过程中统一数据质量的要求。如:几何信息(尺寸标注)遵循ASME14.41或Q/AVIC01801-2011等标准要

求。非几何信息采用信息编码方式进行分类,如波音MBD数据中标准件信息采用A1B1C字符串来表示为: BACB31E6-5⁺=27|BACB31E6-5| Bolt,Threaded,Pull Type for Swaged Collars, Protruding Head. 其中A是标准件数量,B是标准件号码,C是标准件描述。

(3)数据的可用性。

MBD中信息要求可为后续研制工作直接使用,几何信息(几何描述和尺寸标注等)需要二次开发实现信息的提取和使用,非几何信息则是按照管理系统要求,实现对信息的格式化提取和使用。此外,如果厂所分离,需要提取出MBD中信息,再在此基础上开展后续工作。如果是厂所合一,则可在同一MBD数模上协同开展工作,并直接形成可用于制造现场的加工、装配或检验的作业指导

书。图6为MBD数字化检验的示意图。

2 工艺设计阶段 MBI 的生成

MBD在航空型号中得到应用,而数字化制造总体上仍相对滞后,如何实现三维设计向三维制造的顺利转化,作为设计、制造间桥梁的工艺设计是关键所在。

(1)基于成熟度的工艺审查。

基于模型的技术的应用,改变了传统数据管理方式,MBD数据通过MBE协同环境,以数模形式提前同步到制造单位,工艺人员按照成熟度状态直接在三维环境中与设计人员共同完成工艺审查并保存结果,实现了审查工作的并行和可追溯性。

(2)三维工艺(装)设计。

车间工艺使用经过工艺审查的MBD数据替代原有二维图纸和原理草图开展详细工艺设计,工装人员按工艺要求开展工装研制,构建三维工序模型,编制每个工步的指导信息及对应视图,并将产品模型、工装模型、工序模型关联起来,实现工艺(装)信息的三维可视化。

(3)三维工艺仿真。

工艺设计后,需要进行工艺仿真以发现装配、加工和检测中可能遇到的问题,其中装配仿真验证零部件干涉情况,安装顺序是否正确及工人的可视性、可达性、可操作性等。加工仿真验证刀具、夹具和工件间是否存在干涉等;检测仿真验证测量工具与工件的干涉并进行路径优化。

(4)MBI的生成。

经过上述工作,实现将MBD数据中信息,以结构化的工艺描述和三维模型的形式传递到工艺路线中的工序(步),并进一步

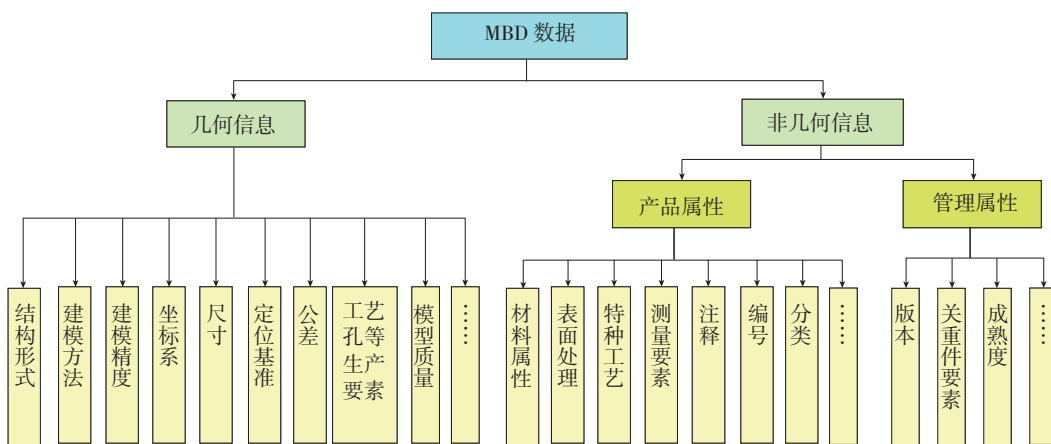


图5 MBD数据的组成

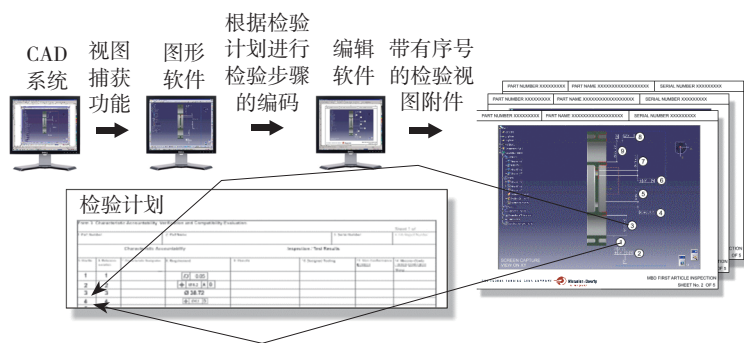


图6 MBD的三维检验过程示意图

补充三维制造的工艺信息,如按工艺分离面划分的产品结构、工序模型、编制工序的内容以及工艺仿真结果等,形成可用于指导生产的MBI。

3 制造阶段 MBI 的完善

MBI作为MBD的继承者及其在制造领域的发展者,它的应用,一方面是在工厂(车间)使用的过程,另一方面,需要对制造现场信息采集并反馈以完善MBI,实现基于模型的技术在企业的最终落地。

(1) MBI的现场应用。

MBI应用就是使用工艺设计中完成的,经过轻量化处理的三维可视化的虚拟加工、装配和检测过程,并与相关工序内容的编制相结合,形成的结构化工艺指导书(MBI),然后,现场操作人员通过终端设备,浏览MBI信息,驱动相关生产和检测设备,完成产品制造的过程。需要强调的是制造过程的实现,不仅需要MBI信息,还需要生产管理系统(如MES等)提供订单、计划、设备、生产状态等的信息,同时作为制造现场的集成信息平台,生产管理系统还能够为MBI信息在生产 and 检测设备中的应用提供支持。

(2) MBI的最终完善。

广义MBI不仅包含常规作业指导书的内容,还需要制造现场的控制生产过程和零件转接等信息,这些信息在虚拟环境中无法定义,要操作人员在现场采集并反馈到MBI中,主要有三维几何信息(数模)可为检测人员利用开展检测工作,并将检测结

果与MBI中信息相比较形成质量模型和报告反馈回MBI中。还有非几何信息,即制造现场情况与MBI信息的偏离信息,如:更改单、质量超越单、返修工艺单等,它们都需要在研制过程中贯彻,并将结果反馈到MBI中,才能最终形成包括虚拟设计和实际制造信息的MBI。

基于模型的技术建议

目前,国内航空工业围绕MBD技术已经开始了基于模型的技术应用研究,但系统构建MBE集成与协同环境,支持从设计MBD向制造MBI转化的工作尚未全面展开。存在的主要问题^[6]有:(1)各设计、制造单位分别建设自己的数字化工作环境,未建立一体化的全生命周期协同环境,研制过程中系统、标准和技术难以统一,阻碍业务过程和数据链路的贯通。(2)不同型号设计制定了多个MBD标准,使得下游制造面临多个MBD标准的困境。而对MBI信息组织、应用方式认识的多样化,难以形成统一的基于模型的技术标准。(3)多数基于模型的技术工作,仅把原来二维信息三维电子化,信息的完整性、规范性和可用性不高,仍然要依靠人工理解的方式获取信息,基于模型的技术应用水平亟需加强。(4)企业研制经验的重用程度不高,许多基础资源、信息还没有结构化和数字化,难以支持信息系统对产品信息的“数字化”要求和快速研制对知识重用的要求。(5)产品设计信息(如

数模、属性、有效性等)基本实现了数字化管理与控制。但是制造信息一直游离在信息管理范围之外,需要加强两者的集成与管理。

针对基于模型的技术应用的迫切需求,建议亟待开展的工作有:(1)突破传统研制方法的束缚,从理论和实践上对它进行深入研究,形成并完善适合国情的基于模型的技术理论和应用体系。(2)针对影响基于模型的技术应用的多MBD标准及MBI认识的多义性,应尽快建立相关标准,并加强宣传、贯彻和推广,实现行业基于模型的技术标准的统一。(3)加强MBE建设,构建从MBD到MBI的无缝转化需要的集成和协同的数字化环境,为MBD定义、MBI的创建与应用提供多系统集成和软件开发的平台支持。(4)将企业原有经验、标准及资源向支持数字化协同研制的形式(信息结构化、标准和经验知识化)转化,形成基于模型的技术应用的基础资源库。(5)实现全生命周期信息的“数字化”管理,不仅虚拟信息要“数字化”,生产过程信息也要进行数字化处理,以提高研制的自动化和信息化水平。

结论

基于模型的技术在产品研制过程的应用,是一个涉及技术、管理、企业文化等方面深刻变革的业务“再造”过程,是数字化技术在建模标准化、数据管理规范化和系统工具集成化中的深度应用。因此,必须从系统工程的角度,全面开展基于模型的技术方法、标准制定和应用体系的建设,在MBE环境下快速贯通从MBD定义到MBI应用的数字化研制业务过程数据链,是提高中国航空产品研制数字化、信息化水平的必由之路。

本文共有参考文献6篇,因篇幅有限,未能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 夏宛)