

关于MBD技术在我国航空制造企业应用的几点思考

Thinking About Application of MBD Technology in Chinese Aeronautic Manufacturing Enterprises

西北工业大学机电学院 贾晓亮



贾晓亮

西北工业大学机电学院教授、博士生导师。现从事航空制造工艺与装备数字化、计算机辅助工艺设计(CAPP)与制造过程管理(MPM)、飞机数字化集成制造和复杂产品生命周期管理(PLM)等方面的研究。

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也已开展多年,并且三维数字化设计和MBD技术在产品设计中已得到了成功深入的应用,这对下游的航空制造企业提出了新的迫切要求。

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。随着市场竞争的加剧和全球化,航空复杂产品制造企业在不断缩短制造周期和提高资源利用率的同时,更加趋向于设计、工艺与制造过程以及整个供应链的紧密协同。

MBD(Model Based Definition)技术,即基于模型定义,是一个用集成的三维实体模型来完整表达产品定义信息的方法,在三维实体模型中包含产品尺寸、公差等的制造信息定义和表达。MBD使三维实体模型作为生产制造过程中的唯一依据,改变

了传统以二维工程图纸为主,而以三维实体模型为辅的制造方法^[1]。目前MBD技术在空客公司和波音公司已经得到实际全面应用和推广。实际上,美国机械工程师协会早在1997年就在波音公司的协助下开始有关MBD标准的研究和制定工作,并于2003年使之成为美国国家标准(ASME Y14.41-2003),随后CAD软件公司把此标准设计到工程软件中。波音公司在2004年开始在787客机的设计和制造中全面应用MBD技术。

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也已开展多年,并且三维数字化设计和MBD技术在产品设计中已得到了成功深入的应用,这对下游的航空制造企业提出了新的迫

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

切要求。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。

MBD 技术相关思考

MBD 技术是将产品的所有相关设计、工艺、制造属性以及管理等信息附着在产品三维模型中的产品数字化定义方法。MBD 要求将产品设计授权由二维工程图纸转变为完全基于 MBD 模型的工作方式,从技术角度讲希望在产品研制生命周期中不再使用任何二维工程图,这将使得数字化技术在制造中的应用真正向无纸化制造的目标逼近。实际上,在 MBD 技术的发展中,核心思想并不只是将二维图纸的所有信息反映到三维模型中,而是要充分利用三维模型的产品定义特点,去挖掘更加方便设计、工艺和制造人员理解的更加高效率的产品定义方法和模式。目前,单纯从三维标注技术本身而言基本可以满足 MBD 标注的需求,MBD 数据集完全可以包含原先二维图纸的信息,关键在于在 MBD 模型的基础上如何面向产品研制生命周期的所有使用人员开展并满足其使用更加方便、直观、便于理解、更有效率的产品设计信息表达方法研究,同时使得 MBD 模型在设计、工艺、生产、检验和维护等环节中保持一致性和可追踪性,这并不能完全照搬二维工程图的方法体系。因此,MBD 技术的应用不仅仅是在产品设计中的应用,而需要贯穿产品研制生命周期和整个供应链,其目标是建立一个面向产品 PLM 协同研制的基于 MBD 模型的数字化技术体系,通过网络组

成虚拟的协同工作团队,建立基于 MBD 模型的单一产品数据源的分布式、动态协同工作环境,用于支撑整个供应链的相关设计、制造单位(部门)的高效协同工作,对产品研制数据和业务流程进行统一存储、组织、管理和控制,确保产品研制数据的一致性、有效性、安全性、完整性和可追溯性^[2]。针对我国航空制造企业,本文将从 MBD 技术与三维 CAD 软件、二维工程图、无纸化制造、产品数据管理和 3D-PLM 5 个方面进行分析,如图 1 所示。

能角度而言已经非常成熟,但是在对 MBD 理念的支撑上,目前应该说仍处于发展进程中。MBD 技术和理念的全面实施对于产品设计及制造工程体系和工作模式将产生重大的影响。目前三维 CAD 软件虽然依据相关的标准实现了三维标注等功能,虽然可以将以往二维工程图的所有信息反映到三维 MBD 模型中,但在三维模型的基础上如何开展更加方便、直观、便于理解、更有效率的设计表达方式,需要深入研究三维标注内容的自动智能生成/显示与管理、MBD

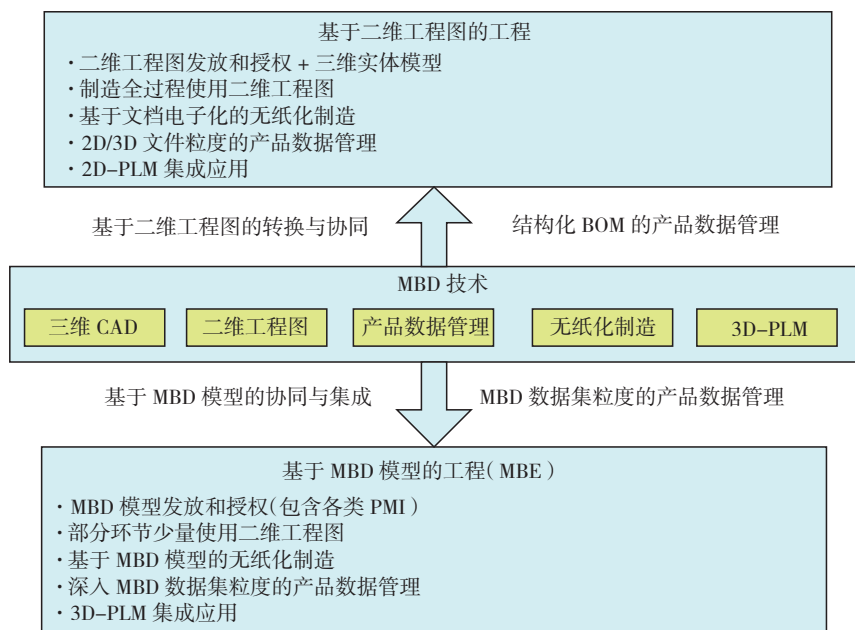


图1 MBD相关技术演变分析

1 MBD 技术与三维 CAD 软件

三维 CAD 软件在航空工业的应用具有悠久的历史,目前国际主流的高端三维 CAD 软件的应用需求产生和发展部分直接来源于航空工业。笔者认为 MBD 技术的应用是在三维实体模型技术的应用基础上发展的,实际上只要有产品三维实体模型就可以开展数字样机、工艺仿真和制造仿真等工作,MBD 模型的应用优势在于设计、工艺、制造属性以及管理信息的集成定义与管理。目前,主流三维 CAD 软件从几何建模等功

模型的自动视图显示优化、自动特征视图捕获创建与管理、MBD 模型的自动检测等。这需要长时间在工程实践中去反复探索、发展、适应、优化和完善,而不是短时间就可以解决的事情。

2 MBD 技术与二维工程图

在 MBD 技术出现之前,在产品的设计制造中,自从 1798 年出版了《画法几何学》,1840 年在工程中引入蓝图以来,200 多年来工程技术人员一直是用二维图纸描述产品、传递产品的制造信息,二维工程图技术

非常成熟。而 MBD 技术的全面应用将最大程度的消除产品研制生命周期中的二维工程图使用,但是 200 多年的二维工程图的文化已经深深根植于工程技术的文化体系中,并且笔者认为任何技术在其发展过程中都有其局限性,MBD 技术也不例外。MBD 模型对于产品设计的直观性具有优势,但是对于产品细节的描述需要大量的多视图切换和各种复杂频繁的操作,对操作者的软件应用要求较高,而二维工程图的使用在这方面的没有特殊的要求。因此,笔者认为在可见的相当长的时间内,由于 MBD 技术体系和在制造企业内部生产流程及供应链上企业的设计、制造和检验领域的全面实施推广仍需要时间去探索和完善,仍需保留部分二维工程图作为研制过程的依据,MBD 模型和二维工程图还将共同担负着产品设计,制造数据表达、传递的任务。

3 MBD 技术与无纸化制造

关于产品设计、制造过程的无纸化(Paperless)在 21 世纪初曾一度是研究热点方向,而在工程实践中实际并未得到足够的重视和响应。实际上,正是三维实体模型的应用,尤其是 MBD 模型的应用才真正使得产品设计、制造过程产品数据的表达、传递的无纸化成为可能,也就是说,只有当纸质介质无法表现相关的产品数据内容(如三维模型、仿真动画等)时,无纸化才会成为必须采用的技术手段。因此,MBD 技术的应用推广是真正实现无纸化制造的契机,基于 MBD 模型的无纸化制造可以在计算机的虚拟环境中进行计算分析、工艺仿真与优化、制造仿真与优化等,基于 MBD 技术的无纸化制造使得三维产品制造信息(3D Product Manufacturing Information, 3D PMI)与三维设计信息共同定义到产品的三维数字化模型中,改变产品信息的传递方式和试验、制造、检验方法,实

现基于 MBD 模型真正高度集成,使新产品的的设计制造周期缩短,大大降低了成本。基于 MBD 技术的无纸化制造的环境建设包括计算机网络、可视化看板、显示终端和相应的工程软件等。

4 MBD 技术与产品数据管理

目前,从航空制造企业的应用和主流工业软件的支持上看,产品数据管理还是集中在以结构化 BOM 数据为核心的基础上开展,对于产品设计图纸和三维模型等是以文件数据集的方式进行管理,并未深入到文件数据集的内部,而 MBD 数据集包括产品的所有相关设计、工艺、制造属性以及管理等信息,既包括以往二维工程图所表达的产品信息,也包括三维实体模型的所有信息,如零件的 MBD 数据集包括实体几何模型,零件坐标系、尺寸、公差和标注,工程说明,材料需求等;装配件的数据集包括装配实体几何模型、尺寸、公差和标注、工程说明、零件表数据、标准说明等。MBD 数据集的信息量与原来无标注的三维实体模型相比有了大幅的增加,既有反映其形状和结构的几何信息和尺寸,又有反映其工程属性和制造要求的非几何信息。由于以往二维工程图无法实现 PMI(Product Manufacturing Information)信息的结构化管理,而 MBD 由于 PMI 信息与特征的关联可实现特征关联的 PMI 信息结构化管理,因此 MBD 理念下的产品数据管理需要突破传统的文件数据集的管理粒度,进入 MBD 数据集的粒度进行管理,实现产品研制生命周期的 PMI 结构化管理,这对于三维 CAD 软件、产品数据管理(Product Data Management, PDM)软件在数据管理的粒度和数据版本、数据有效性、数据更改管理以及在企业的应用都提出了严格的要求,尤其是设计 MBD 模型更新后,工艺 MBD 模型和制造 MBD 模型以及相关技术文档的智能更改贯彻,以

及相关技术保证设计工艺过程的全相关性和工程变更的一致性是一个难题。

5 MBD 技术与 3D-PLM

产品生命周期管理(Product Lifecycle Management, PLM)是一个协同的、集成的、信息驱动的方法,应用于从设计、制造、配置、维护、服务到最终处理的产品生命周期的所有方面。通过 PLM 技术能够存取、更新、处理和推理由局部的和分布环境中产生出来的所有产品信息。MBD 技术的应用可推动航空制造企业从基于二维图纸和结构化信息的 PLM 应用信息集成向以 MBD 数据集为核心的三维产品生命周期(3D-PLM)集成发展,3D-PLM 充分利用先进的信息技术,以企业的三维产品数据为核心,提供包含概念设计、产品设计、工艺规划、制造、产品维护等在内的完整的产品全生命周期解决方案,涵盖整个企业和供应链,协同支持产品定义信息的生成、管理、分发和使用,推动创新产品的研发,提高产品研制效率,实现协同工作,缩短上市周期,并提高产品质量和服务水平,降低成本。有效地继承和重用丰富的产品 MBD 模型资源及三维设计结果可以支持产品的快速研制,实现基于 MBD 模型的设计、工艺与制造协同和集成,满足航空复杂产品的快速研制和生产需要。其中 MBD 模型版本及 3D-PLM 环境的更改关联与更新是一个难题。

MBD 技术在我国航空制造企业应用思考

在我国航空工业中,MBD 技术目前在飞机设计院所的应用和推广已取得了成效,部分新型号已开展 MBD 产品模型的直接发放,不再发放二维工程图,究其原因在于飞机设计院所新的产品型号设计中早已全部实现基于三维 CAD 软件的三维实体建模和产品设计,以前为下游的

航空制造企业输出产品二维工程图主要是为了满足制造企业对产品设计数据的输入需求,输出产品二维工程图不是真正产品设计工作的增值部分。MBD 技术将飞机设计院所以往输出二维工程图的工作量转移到基于三维模型的三维标注工作上,由于 MBD 数据集具有的集成特性,在设计更改和数据的一致性维护等方面相对原有的工作模式具有优势,因此对设计人员而言总体工作量是减少了。目前在我国航空工业 MBD 技术的推广背景下,飞机设计院所具有极大的热情和动力,也使得他们迅速甩掉了输出产品二维工程图这种对于设计而言的非增值过程,而对于航空制造企业而言,由于整个制造过程涉及的人员众多、技术水平参差不齐、人员素质良莠不齐等,并且涉及诸多技术、工程文化和管理问题,MBD 技术的深入应用推广还有很长的路要走。

1 应用路线图

MBD 技术在我国航空制造企业的应用要充分考虑制造企业的实际情况,制定出合理的应用路线和方案,笔者认为 MBD 技术在航空制造企业的应用首先应以数控工艺与制

造和装配工艺与制造为应用示范领域,并选取关键零部件作为应用示范对象,通过实际摸索和验证建立 MBD 的应用实施模式,再逐步面向整个产品推广。MBD 的应用路线如图 2 所示,共分为 6 个阶段,当然这些实施阶段之间会重叠和交叉。第 1 阶段是航空制造企业根据自身的需要,面向整个产品的工艺和制造基于 MBD 模型进行二维工程图的转换与应用,满足现阶段的产品研制需求;第 2 阶段是基于 MBD 模型的设计、工艺协同;第 3 阶段是基于 MBD 模型进行工艺模型的转换,实现三维工艺设计与仿真;第 4 阶段是基于工艺模型的制造模型转换和制造现场基于 MBD 模型的可视化应用;第 5 阶段是基于 MBD 模型的全过程无纸化制造;第 6 阶段是以 MBD 数据集为核心的 3D-PLM 全面集成应用。

2 应用技术因素

航空复杂产品定义从二维工程图到三维实体模型是一次重大的技术转变,笔者认为从三维实体模型到 MBD 模型的发展不管从 CAD 技术本身还是数字化产品定义技术还不算是重大的技术飞跃,实际上以往

的三维实体模型和 MBD 模型在制造企业的工艺和制造仿真中的作用并无本质的区别,但是基于 MBD 模型应用的愿景之一——消除二维工程图,这对航空制造企业在三维 CAD 软件、二维工程图、PDM、无纸化制造、3D-PLM 技术的应用上将是一个巨大的挑战,需要在航空复杂产品的研制中,产品数据集实现以 MBD 模型为核心载体的设计数据发放,建立面向 3D-PLM 以 MBD 模型为核心的产品数据管理手段,以 MBD 模型为核心的数据集包含设计、工艺、制造、检验等各部门的信息,各职能部门人员可以共同在一个 MBD 模型上协同工作,这对于 MBD 数据集的技术标准、规范、规则、数据提取、分析、查询、PMI 尺寸自动提取,以及 MBD 工序模型关联等在技术上还需要探索和完善。

3 应用文化因素

MBD 理念的实施最为艰难的是从现有二维工程图的文化中跳出来,以全新的视角研究应用基于 MBD 的信息表达方式,而二维工程图在大学、高职、技校等各层次的教育和制造企业的现场应用已有 200 多年,根深蒂固,有着深厚的文化背景,制造企业的生产现场从以基于纸质的工程图为依据制造产品到基于 MBD 数据集的模式制造产品,其中的转变是巨大的,并且这种转变不仅仅是技术问题,对于文化的转变是需要时间的。通过在合适的应用部门和人员范围面向工程应用开展各种相关的培训可以一定程度加速转变过程,建立以点带面的示范应用工程是文化转变的重要方法。让技术人员充分认识到 MBD 数据集成为产品全生命周期研制过程中信息传递的单一产品数据源,让工程、工艺、工装、质量控制和管理人员充分了解 MBD 技术的内涵,并能够熟练使用相应的工具,这是基础。

4 应用管理因素

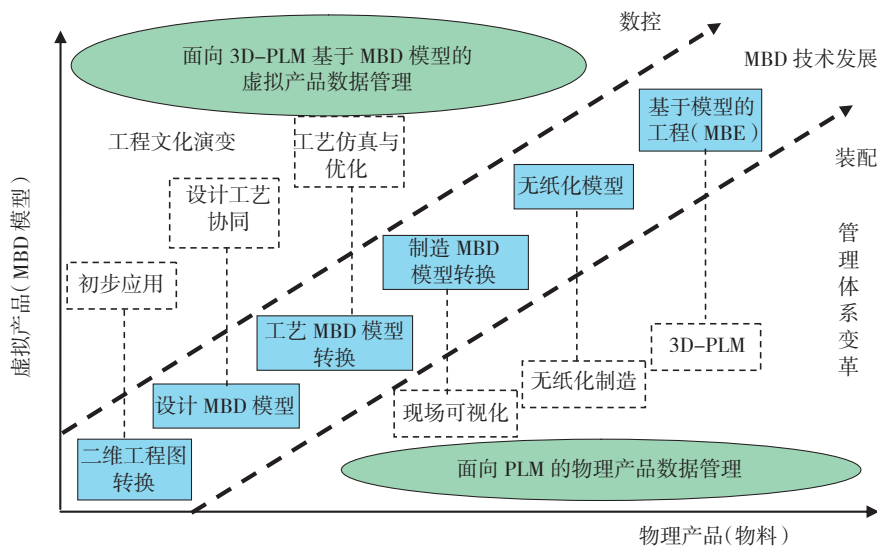


图2 航空制造企业MBD技术应用路线图

航空复杂产品传统研制模式已经形成了基于二维工程图的完善成熟的管理体系,而采用 MBD 技术需要对传统的二维工程图发放以及相关的技术单、更改单、明细单和工艺制造相关的技术文件的形式、流程和管理方法等进行研究和探索,建立新的管理体系。在航空制造企业全面应用 MBD 技术,基于网络建立基于 MBD 模型关联的单一产品数据源的核心流程和管理框架是关键,由于 MBD 数据集中定义了所有的产品信息,完全取代了二维工程图的作用,使得 MBD 技术体系无论从产品定义到数据组织管理控制上产生质的飞跃。同时基于 MBD 的工艺设计、工装设计、数控编程、数字化检测等都对管理体系和基础资源、标准化等工作提出了全新要求。3D-PLM 管理体系需要通过积极探索和创新发展,形成了一套完整、科学的管理所有基于 MBD 的设计、工艺、制造和检验的标准规范,所有标准的工作方法、指令、要求都必须被统一编码并由计算机系统管理和发布,任何授权的供应商都能够检索到相关的标准,从而保证整个产品供应链执行统一的标准和质量要求。此外,在产品的设计中,三维 CAD 软件需要使得设计人员直接集成标准管理体系,可按照一定的约束条件选择相应的标准,并将该标准内容贯彻到 MBD 数据集的特征树中。

5 MBD 应用过程评估

MBD 技术在各个阶段的应用过程中应根据设定的目标和里程碑节点进行充分的评估,对涉及 MBD 应用的目标、PLM 支撑系统、人员、管理、标准和实施效果进行评估、调整和迭代,确保 MBD 技术的应用效果,如图 3 所示。

MBD 应用过程评估模型可以参考 CMM 能力成熟度模型,定义为 MBD 应用初始级、MBD 应用重复级、MBD 应用定义级、MBD 应用管理级、

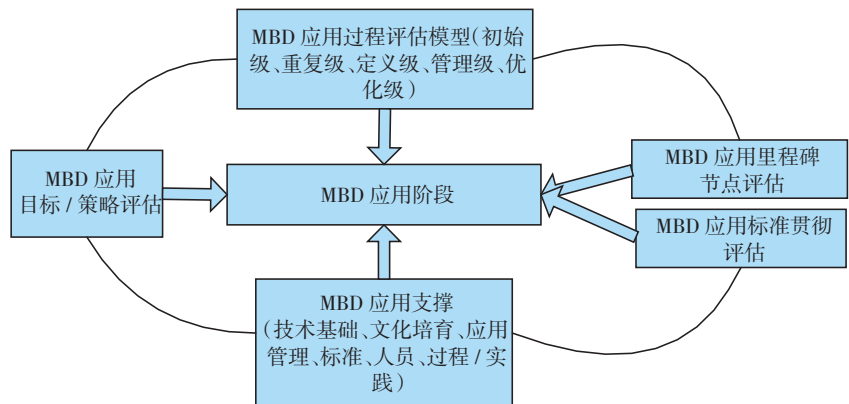


图3 MBD应用过程评估

MBD 应用优化级 5 个层级^[3]。MBD 应用初始级是以离散的 MBD 技术应用为特征,在整个产品及供应链的工作中没有形成可重用的标准; MBD 应用重复级是以自发积累了一定支持 MBD 工作的 PLM 应用为特征,企业已经开发形成一些可重复的应用过程和流程; MBD 应用定义级是以 MBD 应用中建立并贯彻了标准规范的质量业务流程为特征,并在整个产品及供应链中对 MBD 相关业务进行了明确的定义和标准化; MBD 应用管理级是以 MBD 应用中对整个产品及供应链 MBD 工作的指标体系和控制活动的管理为特征,企业对于整个产品及供应链的 MBD 应用工作非常重视,在整个产品及供应链的 MBD 应用工作实施以及管理上建立完善的体系; MBD 应用优化级以贯穿整个产品及供应链的 PLM 系统的 MBD 协同集成应用为特征,整个产品及供应链基于 MBD 应用指标体系和标准能够自觉的不断努力改善应用过程和效果,并基于 MBD 技术应用系统实现自动化、智能化的评估、分析等辅助手段,可以有效支持产品的研制过程。

结束语

MBD 技术作为航空复杂产品数字化设计、制造和管理的核心技术和

发展方向,已在空客公司和波音公司得到实践和推广。MBD 技术的引入和工程实践在我国也已开展多年,并且三维数字化设计和 MBD 技术在产品设计中已得到了成功深入的应用,这对下游的航空制造企业提出了新的要求。在我国航空制造企业的 MBD 技术应用中应在技术上重点理顺 MBD 技术与三维 CAD 软件、二维工程图、无纸化制造、产品数据管理和 3D-PLM 的关系,既要考虑先进技术的推广,也要考虑企业实际情况;在应用实施上可首先以数控工艺与制造和装配工艺与制造为核心和主线进行应用和推广,并重点关注企业技术体系建设、工程文化建设和管理体系变革是合理、有效、平稳推进 MBD 技术在航空制造企业全面深入应用的关键。

参考文献

- [1] 范玉青,梅中义,陶剑. 大型飞机数字化制造工程. 北京: 航空工业出版社, 2011.
- [2] Grieves M. Product lifecycle management: driving the next generation of lean thinking. New York: McGraw-Hill, 2006.
- [3] Grieves M. PLM, process, practice and provenance: knowledge province in support of business practices in product lifecycle management. Int. J. Product Lifecycle Management, 2008,3(1): 37-53.

(责编 亦非)