

MBE是制造企业信息化的新起点

MBE: a New Starting Point of Manufacturing Enterprise Informatization

金航数码科技有限责任公司 陈绍文
国家国防科技工业局军工项目审核中心 孙刚



陈绍文

金航数码科技有限责任公司高级顾问。长期致力于航空制造企业自主信息化软件系统的研究、开发和实施推广。对航空航天制造企业的生产改进和流程再造具有近 20 年的经验。研究范围包括精益制造、ERP、MES、数字化制造、航空企业信息化规划方法论等。

基于模型定义 MBD 的出现,彻底改变了制造业数据源的性态,为打通制造业信息化的瓶颈创造了条件,成为制造业信息化革命性的新起点。但是制造业的产品生命周期所有活动的的数据源从传统的 2D 到新的 3D MBD 的转移,面临着巨大的挑战,会是一个漫长的过程。“基于模型的企业(MBE)”的概念,作为企业利用基于模型技术的环境,将推动数据源的

MBD 打开了产品图纸不可重用和机器不可读的瓶颈,基于模型的企业 MBE 造就了贯穿产品全生命周期的数字线。这些进步使得制造业的信息化犹如“柳暗花明又一村”,前景突然光明了起来。

过渡。与此同时,制造业所有的信息化应用系统则必须顺应这种发展,向 MBE 靠拢,迎接制造企业信息化新起点的挑战。

从模型的特质引出对信息化的思考

美国国家标准与技术研究院 NIST 在 2011 年 12 月举办了基于模型的企业 MBE 峰会,次年 8 月,在其官网上公布了这次会议的报告^[1]。该报告总结了基于模型的企业最新的技术发展、最佳实践、技术挑战和建议。报告指出:“基于模型的工程(Model-Based Engineering, MBE)方法使用模型,而不是文件,作为产品在生命周期所有工程活动的的数据源。MBE 的核心宗旨是用模型驱动产品生命周期的所有方面,数据一次创建就为所有下游数据消费者重用。”该报告对工程模型的性质做了

更为全面的说明:“模型是真实系统的结构、行为、运作或其他特性的表达或理想化的呈现。模型被用来传达设计信息、模拟真实世界的行为或指定的过程。工程师使用模型来传达产品定义或者定义产品的构成、配置和功能。”报告特别指出模型的双重含义:“模型既可以计算也可以描述。模型的可计算性意味着计算机的可解释性和具有机器可读的格式和语法。模型的描述性是指人可以识别并为人所用(符号表征和演示)。MBE 的核心是描述性模型与计算模型的集成。”并认为“早期的 CAD 模型只是给人看的。现今, CAD 模型可以由各种工程软件、应用软件直接进行解释,并且现在有了能够在应用系统之间传递工程数据的各种格式交换的标准。”基于这样一些重要的认识,促使我们必须对过去进行的信息实践进行反思和展望。

20世纪80年代开始,在制造领域逐步进行着越来越广泛的信息化改造。利用NC/CNC技术控制机床的作业、便捷的通信和高效的数据处理,加速了工厂整体生产力的提高。应用系统与先进企业管理理念的融合,对优化业务流程、保证产品质量和加快研制速度,发挥了巨大的效益。但是,制造信息化的进展与社会的需求和人们的期望相比,至今仍是差强人意。而信息化不尽人意的根源是制造业现行的工程图纸和图纸的发布/传递程序。

传统的工程图纸用带有尺寸、公差以及其他辅助标注的2D投影图表达原本是3D的产品的设计意图,传达制造和质量要求以及支持信息。现行工程图纸存在2个妨碍信息化继续向纵深发展的桎梏。其一是2D图纸的描述性的局限。制造数据在向下游层层传递的过程中,存在2维图向3维思维转换而造成人们大量的脑力浪费和出现错误理解。错误的纠正和更改措施增加了软件使用的复杂程度,减少了信息化的效果。其二是现行的工程图的计算机可读性的限制,不能提供计算机可以直接读写的产品数据。信息化时代,我们希望计算机代替人来执行各种管理的和制造的作业,就必须让计算机直接或间接读到产品的技术数据。但是,过去的工程图纸或文档是给人看的,不是给机器读的。让工程图纸或文档驱动计算机或机器的工作,必须经过人的理解、用人工从2D图纸中提取信息,再通过人机交互界面(屏幕和键盘)将制造数据用下游应用软件(如有限元分析FEA、CAM/CAPP/MES等)能够解析的格式重新定义。当应用系统和数据集成得很理想时,这种手工作业至少做一次,而目前多数企业需要反复的进行。这就是说,信息化了几十年,制造数据的源头却没能“信息化”,高度自动化的设备和软件系统与手工处理的产品数据

之间存在着巨大的鸿沟。2D图纸的机器不可读性,阻断了设计图纸在下游作业的信息化重用。当产品越复杂、对工程图纸依赖程度越高,这种不可读性的影响就越严重;企业的应用系统越多,应用越是深入,遇到的障碍和消耗的精力和就越多。结果是信息化过程中的系统和软件越搞越复杂,实施成本越来越高。在评价已经实现的信息化的成就时要看到过去一代CAD并没有改变2D图纸的本性,CAM编程其实就是人工理解2D图纸,再用机床可以识别的代码和加工顺序重新定义零件的重复定义过程。再如,早期MRP/ERP实施需要的BOM算是一种计算机可以识别的产品结构信息。但是构建和理顺一个复杂结构产品的BOM并非易事。而MES需要的数据不仅仅是BOM,还要求可以用计算机识别每一个零件或装配件的主要尺寸、公差、热处理和检查的要求,这是系统进行制造作业、记录、判别和追溯的依据。在所谓的“数据结构化的CAPP”中,这些数据从人工读二维图纸重新输入得到的,工作量大到难以想象。号称“协同平台”的PDM/PLM,也就是图档和设计过程管理,制造所需零组件的制造数据却不存在。我们当然不能满足于这种水平。

2D图纸在信息化环境中表现出来的固有缺陷和从此引发的信息系统的断点,成为制造业信息化获得更大成效和继续发展的根本性的瓶颈。先进的信息化环境,不但需要人能读懂,还必须是计算机可以直接识别、可以直接驱动应用系统和机器执行的产品数据表达。

标准 ASME Y14.41 打开了制造业信息化的瓶颈

传统的3D模型,包括有限元仿真、装配模拟、运动模拟,应用了10多年。但模型上因为缺少制造所必须的尺寸、公差等的精确表达,一直

不能独立的作为产品信息的唯一数据源。模型和制造数据一体化,即:让产品属性如尺寸、公差和其他技术要求“牢牢的嵌入(embedded in)”模型,让嵌入模型上的尺寸、公差和其他属性可以通过计算机直接访问、查询和重用,让产品生命周期的各个阶段和供应链的全程可以直接利用。这是工程和生产人员的渴望,也是信息化继续深化的必然趋势。

1997年美国制造工程师协会ASME组成专业委员会,由以波音为主的16个制造和软件系统企业参加,制订了ASME Y14.41-2003“数字化产品定义数据通则”,ISO又根据ASME Y14.41-2003制定了ISO 16792:2006,数字产品定义数据实践。标准规定了新的、统一的产品定义方法。所谓“新”,其一是用嵌入的、完全标注的3D模型定义产品;其二,也是更重要的,是用计算机可以识别的“产品定义数据集(Product Definition Data Set)”,目前多数文献也称其为“技术数据包(Technical Data Package)”或“TDP”,做为对3D模型的补充说明。ASME Y14.41开创的产品表达方法被称为“基于模型的定义MBD”。有人定义“产品的基于模型的定义MBD是包含模型的精确3D几何和注释的数据集。注释指定制造和生命周期支持数据和可能包括的说明和列表。该模型和技术数据包TDP构成了对产品的完整定义。

有两个关键因素成就了MBD超过基于图纸/文档的定义的显著优势。(1)计算机可解释性。MBD用计算机可以识别的方式将3D模型和对模型的所有标注、属性、各要素的关联性以及数值组织起来形成技术数据包TDP。后续的制造和检验所要求的有关信息可以通过计算机对TDP直接访问检索、查询、传递。3D CAD模型不必进行附加的手工处理和数据变换,就可以为下游业务

提供数据。工程应用软件可以对模型进行直接的读入、处理。(2)数据的关联性。公差、材料规格、表面光洁度、硬度和其他信息与模型中的特性是相关联地结合在一起的。数据的相关性对模型的整体性是至关重要的。在传统文档之间数据关联非常难以维护,而MBD模型的对象与注释相关联。对人来说,可以直接查看模型而不再需要依靠2D图纸之类的补充文档。对机器而言,提供了可重用模型和可读的TDP。此外,ASME Y14.41 3D CAD产品定义标准还为并行协同的研制提供了应用基础,让下游包括工艺过程设计、制造、维修等所有业务可以直接利用产品定义数据。实际上,MBD开创了真正的产品数据唯一数据源和真正无缝集成。理论上3D模型可以替代2D的图纸和文档作为新的产品数据源。这样,MBD打开了束缚制造业信息化发展的瓶颈,开启了制造行业信息化发展的新纪元。

企业面临产品数据源变化的挑战

MBD彻底改变了表达设计意图的工程信息的形式,MBD向产品生命周期下游的扩展应用成为必然趋势。这种从产品数据源头开始的变革,必将影响到制造、交付、维修等所有的活动。变革还涉及企业所有和产品数据有关的流程、信息系统软件,改变了用到产品数据的所有人员、部门的工作方式和制造业的行为文化。在MBD面前,先进制造系统、精益制造和生产执行的管理也都有了新的含义。新的3D世界,需要建立新的标准化和制造秩序。

但是,从2D传统数据源到3D新的基于模型的数据源的转换和它引发的诸多问题,又不是一朝一夕能够解决的,需要从3D数据源的上游逐渐向下理顺,需要很多技术和标准的支持。这种过渡还存在着许多人

为障碍,难以很快扫清。可以预料,用MBD的3D模型和数据集替代传统数据源让下游都能够应用起来,是一个长期的过程,也成为制造业所关注的头等大事。

基于模型的企业MBE是新型数据源的应用环境

目前看来,有一种称为“基于模型的企业MBE”的技术,最有望成为从2D传统数据源向3D模型的数据源过渡的解决方案。MBE使用3D CAD模型,而不是图纸、文件,作为在整个产品生命周期所有工程活动的的数据源,其核心宗旨是直接利用模型驱动产品生命周期的所有方面,图1说明了产品数据一经创建就为下游所有数据消费者重用。

据源过渡的问题太重要了,我们不能等待学术界或者咨询机构对MBE的定义有了结论再行动。本文采用的是由美国陆军研究实验室Army Research Laboratory(ARL)领导、美国军工制造技术计划(ManTech)和美国国家标准与技术研究所(NIST)等机构联合推广的MBE的观点,简称为ARL MBE或DoD MBE。他们将基于模型的企业MBE定义为:基于产品3D定义(MBD)详细信息的、并为跨企业所共享的集成和协同环境,目的是使企业从原理到退役处理产品全生命周期的所有活动快速、无缝和经济的进行。

实质上,MBE是一张覆盖了使用3D产品数据源所有技术的大伞,是所有基于模型技术的穹顶。关注

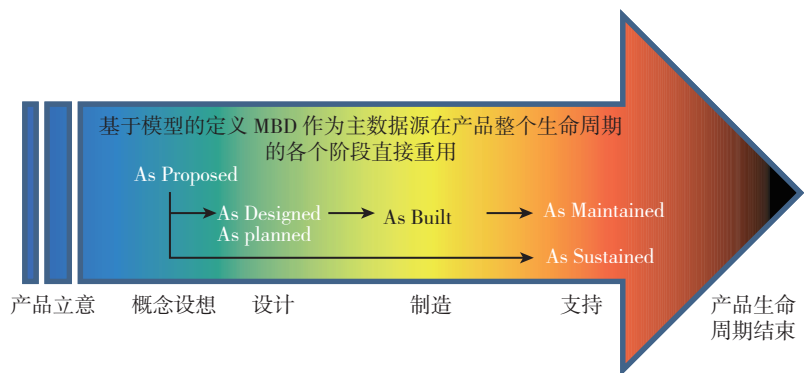


图1 MBE是MBD在整个产品生命周期的直接重用

目前,MBE已经成为制造业最热的词语。美国有多个“基于模型的企业MBE”的研究和应用计划。也有多个版本的MBE,甚至已经出现了某种乱象。最新的、比较统一的说法是:基于模型的工程(Model-based Engineering)是使用数字化模型驱动产品开发、制造和生命周期支持等所有工程活动的方法。基于模型的企业(Model-based Enterprise)是使用基于模型的工程的组织,而基于模型的“企业”和基于模型的“工程”被认为是互通使用的术语,并且有将“工程”的范围扩展到整个产品生命周期过程,而不仅仅局限于设计过程的趋势。但是制造业向新的数

据源过渡的问题太重要了,我们不能等待学术界或者咨询机构对MBE的定义有了结论再行动。本文采用的是由美国陆军研究实验室Army Research Laboratory(ARL)领导、美国军工制造技术计划(ManTech)和美国国家标准与技术研究所(NIST)等机构联合推广的MBE的观点,简称为ARL MBE或DoD MBE。他们将基于模型的企业MBE定义为:基于产品3D定义(MBD)详细信息的、并为跨企业所共享的集成和协同环境,目的是使企业从原理到退役处理产品全生命周期的所有活动快速、无缝和经济的进行。

MBE的愿景和面临的挑战

美国的ARL MBE为数字制造的近期目标标准和实现提供了路线图,已经在引导着军工行业3D模型数据应用和加速用3D模型替代传统

2D 图纸和文档的过程,并且在牵引着美国一系列有关 3D 数据新标准的制订。根据 ARL 的 MBE 开发的“评估 MBE 能力成熟度的标准(MBE Maturity Capability Levels)”^[2],基于模型的企业近期可能达到的愿景是:

(1) 3D 模型和 TDP 的生成和管理达到的水平。用 3D 模型定义全部零件几何和全部零件的标注(包括注释、尺寸、PMI 等),不再需要 2D 图纸的帮助。eBOM 与 CAD 模型相链接。模型和注释(说明、参数、非几何数据)在 PLM 中受控,使用 PLM 基本工具半自动化对 3D 模型几何和零件标注进行检查和对模型的质量进行认证。由 PLM 自动实现从模型元素到数字数据包 TDP 的采集,TDP 由 PLM 自动的数字化发布。数据发布和更改过程以及构型管理都是基于模型的。

(2) 3D 模型和 TDP 不经重新灌入就能够为下游所重用。通过对本地 3D CAD 模型、轻量化 3D 可视化模型和 eBOM 的访问,将 PMI 数据提供给制造、检验以及其它任何需要 PMI 的地方。用本地 3D CAD 模型再创建模型的同时,并行地生成制造工艺规划和作业指导书等制造代码。制造过程的工艺规划和作业指导书 MBI 全部与设计模型相关联。设计模型和来源于模型的大部分数据应在同一个 PLM 系统中管理,制造代码在 PLM 系统中受控。使用本地 3D 设计模型直接生成 NC/CMM 数控、质量检验代码和模型的建立也是并行过程,质量要求数据同样全部在 PLM 中管理。

(3) 在企业内部和供应链之间的协同和数据交换方面,达到的要求是:企业内部使用的设计数据是本地 3D 模型和按企业内部需要的 3D 轻量化可视模型,用户可以根据在组织内的角色,差异化的访问所有模型数据。

向外部设计部门提供的设计数

据也是本地 3D CAD 模型,根据授权,外部的 3D PLM 可直接访问本地模型和元数据。

应该注意的是,这只是一个挑战性的目标,至今尚没有任何企业达到这一水平,甚至实现这个目标的可行技术也正在发展中。真正用 3D 模型替代现行的图纸文档还有很多障碍需要扫清。实现 MBE 的这些目标,面临着如下严重的挑战:

(1) 模型格式的转换问题。

由 CAD/CAM 以及其它制造软件供应商造成的 3D CAD 文件格式差异,成为实现 MBE 数字线和企业真正的集成和协同的现实障碍。供应商有各自独特的 3D 模型和 TDP 文件格式。同一种软件还有不同版本的数据兼容问题。而对于一个企业或产品供应网络,会用到多个不同水平的 CAD 系统,不同厂商提供的 CAM/NC/CMM/MES 系统。将所有的应用软件都统一在同一种格式上几乎是不可能。因此 MBE 理想化的数字线上,实际还是存在着许多因为 CAD 软件系统造成的断点,3D 模型文件的格式转换是不可避免的,尽管所有设计数据的发布可以转换成为 STEP 和 IGIS 中性文件。目前,ARL MBE 引导企业的做法是直接使用本地 3D CAD 模型,在需要衔接时,进行不同格式文件的直接转换。用本地文件而不是从中性文件输入 CAD 几何具有的好处是:消除中间格式的转换、翻译、认证的工作量和减少潜在的翻译错误。在集成来自承包商、供应商和合作伙伴的多种格式的数据时,也不再需要将其转化为一个共同的格式。目前,CAD 系统的供应商和很多 3D 模型格式转换的服务商已经可以提供 3D 模型转换的软件工具,可以解决大部分格式转换的问题。

当然,中性的标准格式的价值并没有被削弱。航空产品的生命周期比 CAD 软件版本更新的周期要长许多。相对稳定的标准格式可以解

决模型数据长期保存和因软件更新引起的读不出来的问题。

(2) 企业信息化进程的多样性问题。

因为 MBE 的进展引发的问题还有大量老产品的处理。目前,从企业信息化进程的角度看,同一个企业有最新的 MBE 模式、更大量的是传统 2D 数据的信息化处理模式,也仍旧存在着纯手工的管理模式。在普遍的混流生产企业中或是车间里,存在这种“一国两制”甚至是“一国三制”的状态,极大的增加了业务流程的复杂性,甚至会出现同一台机床上加工的零件,有用纯纸质文档、“半数字化”MES、无纸化的 MBE 方式的。多种系统的维护和运行规则都会加重车间的负担,以致造成混乱。所以,在目前各个企业将注意力集中在数字化应用“快步跑”的时候,还必须对企业信息化的全局有一个均衡、统筹的规划,特别要关注老的、使用期长的机种,这些产品存在长期生产、维修的数据管理和信息化问题。就目前美国的重要军机,如 F35 的生产特别是装配,是单独建线的,即“一代飞机、一代管理”,有利于管理进步,也不会因为老机型而拖累新技术的快速发展。从这个角度出发,我们必须反思我国航空工业新机生产之前缺失“生产系统设计”的环节,将所有的产品堆积在一个几十年不变的生产线中的模式。

(3) 统一的信息技术平台。

MBE 是以 3D 模型定义为基础,为整个企业所共享的、全面集成和协同制造的环境。在企业或供应链中,无论在何处的数据生产者和数据消费者,在制造过程的任何点上,都将连接到一个共同数字的数据源上,数据标准将从设计阶段开始,延伸到制造,继而到最后装配。这种统一平台就是 PLM 系统。MBE 的 PLM 是一个数字数据产生、传递和管理的统一平台,不被部门和层次化

的局部和应用所割裂或中断。MBE 的重要标志之一是:制造、质量代码与设计模型在同一个 PLM 中管理。届时,完成设计和工艺的数据 as-designed/as planned,包括作业指导书和 CNC/CMM 代码,制造完成和每次维护以后采集的数据 as-built / as-maintained/as sustained 都在同一数据平台中。在 MBE 中,当前的所谓设计和研发平台,工艺平台,制造平台、工具、工装等五花八门的区域性的平台都将起到割裂连续数字线的作用。所以从现在起,我们就要将信息规划的着眼点转移到利用 PLM 建立唯一的统一数据平台上来。

(4) 并行和协同的实施。

在 MBE 环境中,所有的工程活动是个同步或并行的过程。创建 3D 动态作业指导书、制造与质量代码 CNC/CMM 程序、离散事件模拟等活动都是与创建设计模型并行开展的,这些工作都能够在设计过程完成之前开始并完成到一定程度。尽管并行工程的概念和应用有几十年之久了,但是,只有在 MBE 环境中才能缩短并行工程的研制周期和充分发挥各种模拟仿真的效能。供应商也可以在它们的内部开发过程重用 OEM 的 TDP 中的信息。但是,实行并行工程和真正的协同至今仍旧受到现有厂所建制和企业内部机构设置、功能划分的限制,也深受设计和工艺人员分工、知识技能的制约。这些属于行业规则和企业文化的问题也需要及早找到妥善的解决方案。

MBE 为先进制造开辟广阔的前景

MBD 解决了产品生命周期中的产品数据源的形态和机器对产品设计意图的可读性问题,从而给机器和软件系统的功能扩展开辟了无限的空间。MBD 数字数据重用的潜力仅仅受到用户想象力的限制。

最早实践将 3D MBD 直接用在

加工机床的是洛克希德·马丁公司。他们在生产 F35 中将 3D CAD 数据直接输给计算机数控 (CNC) 机床加工的零件,或通过 CPS 编程系统完成复合材料的敷设,为 F35 的 3 种构型节省了 6000 套工装,还省去了这些工装的管理和与零件相互配置的时间,以及工装的配送和向机床上装夹所花费的时间。因为这些成就,洛克希德·马丁打造了“数字线 Digital thread”这个术语。

F35 的大部件分包商诺斯罗普·格鲁曼和 BAE 在 2012 年分别采用了被称为“集成装配线 Integrated Assembly Line, IAL”的技术生产中的机身、机身部件和水平尾翼、垂直尾翼的组装。IAL 采用基于 3D 模型的数字线 Digital thread 概念,简化了制造、测量和检验、数据采集的数据传递过程,利用模型驱动包括机器人在内的智能化和自动化设备,为飞机生产提供更加强大的制造和装配能力,实现用手工方法很难达到的严格质量要求,并提供了一个更有效率和工效学的装配环境。集成装配线包括自动化的装配工装系统、运输系统和制造系统,对全部设备通过工厂的通讯系统进行集中的和无线的控制。IAL 实际上就是一种自动化、智能化的移动 / 脉动装配线。在 IAL 中值得称道的是 F35 的进气道机器人钻孔单元 Inlet Duct Robotic Drilling (IDRD) Cell 和紧固件安装实况链接系统 Fastener Insertion Live Link System (FILLS)。FILLS 将基于模型的作业指导书 MBI 编辑成为分步骤的作业计划,用 3D 投影仪将需要安装紧固件的孔的位置和简要的作业指令投影到装配件上(图 2)^[3],大大的降低了 MBI 的复杂程度。因作业指令就在装配件上,不但丢掉了

质文档,也丢掉了计算机终端。

MBE 将航空生产计算机控制的设备、管理应用系统用 3D 模型数据集成在一起,为航空生产的自动化和先进制造技术的发展创造了条件。MBE 将飞机制造和装配作业带上了

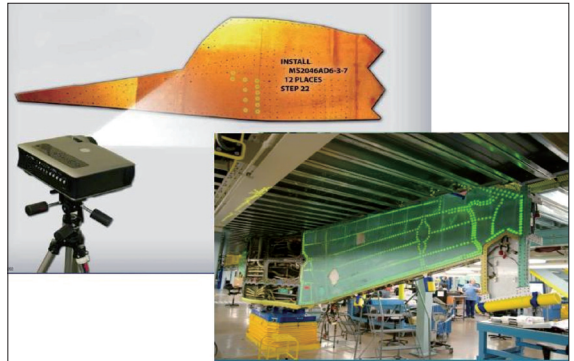


图2 将模型和作业指导书直接投影在需要加工的部位

自动化的道路。

结束语

MBD 打开了产品图纸不可重用和机器不可读的瓶颈,基于模型的企业 MBE 造就了贯穿产品全生命周期的数字线。这些进步使得制造业的信息化犹如“柳暗花明又一村”,前景突然光明了起来。引入 MBE 的概念,将加速解决应用 3D 模型引发的新问题,将促进制造数据源向 3D 转移的进程。我们的企业在集中力量快速推进数字化设计、制造的热情还必须与更踏实的统筹信息化的全局结合起来,让真正的集成和协同数字化的航空制造企业更快的到来。

参考文献

- [1] Model Based Enterprise/Technical Data Package Summit Report, NIST Technical Note 1753.
- [2] MBE Maturity Capability Levels. [2013-04-09]. http://model-based-enterprise.org/docs/MBE_Levels_Table_MTO.pdf.
- [3] Affordable Manufacturing Technologies for the F-35 Lightning II. [2013-04-09]. <http://www.ndia.org/Divisions/Divisions/Manufacturing/Documents/don%20Kinard.pdf>.

(责编 日午)