

基于MBD的商用航空发动机 数字化设计与制造技术实施方法

张玉金^{1,2}

(1. 南京航空航天大学机电学院, 南京 210016;

2. 中国航发商用航空发动机有限责任公司, 上海 200241)

[摘要] 目前,我国商用航空发动机自主研发面临巨大挑战,正着力建设数字化商用发动机自主创新研发体系。基于模型的定义(MBD)技术是实现复杂产品数字化研发的关键技术,其深入应用对构建我国商用航空发动机数字化研制模式、提升自主研发能力、缩短研制周期等方面具有重大的现实意义。介绍MBD技术国内外发展趋势,阐述基于MBD的数字化协同平台建设框架和应用思路,借鉴技术创新过程的线性范式,提出MBD应用导入方法论,总结商发公司型号项目MBD应用实践和成果,并对未来MBE应用范式进行了展望。

关键词: 商用航空发动机; 基于模型的定义(MBD); 数字化设计; 数字化制造; 基于模型的企业(MBE)

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2018.22.062



张玉金

博士研究生、研究员级高级工程师,研究方向为数字化设计和制造。

目前,我国以中国航发商用航空发动机有限责任公司(简称“商发”)为主体,正在加紧研发国产商用航空发动机,以解决我国民用航空发动机

不能自主研制的短板。航空发动机被誉为“工业的皇冠”,属于典型的复杂、多学科集成工程机械系统,为保证所建立研发体系的先进性,必须应用大量的先进数字技术,形成数字化研发体系,缩短发动机研发周期,提高研发质量,推动我国商用航空发动机自主创新之路。

基于模型的定义(Model Based Definition, MBD)技术是当前数字化产品定义的标志性技术,也是实现智能制造的关键基础技术,广泛应用于复杂产品的数字化设计与制造,将成为我国商用航空发动机数字化研发体系建设的重要保障和支撑基础。近年来,商发大力推进MBD技术应用,持续进行理论研究和工程实践,取得一定理论成果和应用效果。本文将商发MBD实践进行归纳总结,共同促进我国航空发动机领域MBD应用水平提升。

国内外发展趋势分析

1 国外航空行业MBD技术应用现状与发展趋势

MBD技术是美国波音公司在美国机械工程师协会颁布的数字化产品定义规范^[1]基础上,通过创新发展,率先开发出一种全新的定义产品技术^[2],并在其波音737项目进行部分应用,在波音777及之后项目中实现全面应用^[3]。MBD的核心是全面建立产品结构的三维几何模型,以其为主体,将制造和管理等非几何信息附着其上,代替传统的二维工程图纸作为介质进行产品设计和特性表达,实现将三维数字化模型作为生产制造的唯一依据。

波音公司MBD技术工程化应用的成功实践,创建了世界航空工业领域全新的数字化设计与制造模式,实现向全世界航空工业的扩展和

辐射。空中客车公司的 A380F 货运飞机、欧洲航空防务与航天公司的 A400M 军用运输机、美国洛克希德·马丁公司的联合战斗机 F35 等均全部或大规模地采用。我国大部分飞机制造企业也已推进了设计和制造领域的 MBD 应用^[4]。中国商飞、中国航空工业、中国航发在军民用飞机和发动机研制项目中,均在系统推进基于 MBD 技术的数字化定义和设计-制造协同。

2 国内航空行业 MBD 技术应用现状与发展趋势

(1) 加大 MBD 技术应用力度,保证产品数字定义的完整性和规范性。

目前我国航空工业 MBD 应用具备一定基础,但总体上仍处于三维模型和二维图纸混用的状态,行业标准不统一、部分专业标准缺失,产业链协同中各单位 MBD 标准要求不一致。面向制造、装配和服务的 MBD 信息表达不完整的情况比较普遍,MBD 特征库和资源模型库不健全,MBD 模型轻量化表达技术仍不成熟。未来需要加强 MBD 关键技术研究,将其融入完整的产品数字系统模型(Digital System Model)表达体系中去,应用数字孪生(Digital Twin)^[5]理念在更高层的体系架构中实现 MBD 技术对产品完整的数字定义。

(2) 基于 MBD 模型驱动的产品研制全过程单一数据源。

目前,航空行业异构 MBD 数据转换标准不成熟,数字样机几何模型和仿真模型的 MBD 数据难以共享传递和复用。生命周期前段 MBD 建模质量不能满足生命周期后端对模型的应用要求,阻碍了设计、制造和服务协同。必须深入研究 MBD 在生命周期中的共享传递机制,实现数字量连续传递,应用数字线索(Digital Thread)^[6]技术解决基于模型的工程、基于模型的制造和基于模型的服务之间的脱节

现象。

(3) 提升 MBD 技术支撑自主创新、自顶向下研发体系的能力。MBD 应用带来航空产品建模和仿真技术的变革。但目前航空行业基本仍处于使用 MBD 代替二维图纸实现甩图版的产品表达层面,其增值应用,如装配分析、重量分析和容差分析等处于起步应用水平。显著提升设计效率和质量的自顶向下、多专业、多部件关联设计、制造和服务能力不足,与产品数据管理系统相匹配的技术状态管理水平不高。未来需要从 MBD 支撑复杂航空产品智慧设计的角度,建立更为系统的 MBD 工程应用体系,推动建立自主创新的正向设计过程。

商发 MBD 数字化设计与制造实施规划

商发在应用 MBD 技术方面,充分分析借鉴国际标杆和国内航空工业的应用实践,在商用发动机研发体系建设的整体框架下,应用系统工程思想,结合型号研制需求,进行了 MBD 应用的整体策划和系统推进。

1 MBD 应用的业务分析

商用航空发动机研制阶段主要划分为需求分析和定义、概念设计、初步设计、详细设计、制造和试验验证等阶段。每一个阶段都存在大量“设计-试制-验证”迭代,需要多专业以及多单位协同工作。MBD 应用业务场景如下:

(1) 总体-部件结构设计协同:按照发动机自顶向下设计流程,制定基于 MBD 的自顶向下协调沟通和迭代形成总体设计方案。

(2) 多专业协同:基于 MBD 实现结构设计和气动传热、强度分析、材料等多专业协同。

(3) 设计-制造协同:基于 MBD 实现与承制单位的设计-制造并行工程协同,支撑可制造性评估,

支持零部件制造和装配工艺设计。

(4) 数据管理与共享:推动设计模型向生命周期各阶段传递和增值复用,进行逻辑单一数据源的技术状态管理。

2 MBD 应用的架构设计

基于发动机自顶向下研发流程,制定设计-制造并行协同机制,建立多专业、跨地域工程技术人员提供统一的数字化研发平台。它以 MBD 应用为核心,主要由基于模型的系统工程、基于模型的工程、基于模型的制造、基于模型的维护等组成,覆盖设计、制造和服务的完整产品生命周期业务,构成基于模型的企业(Model Based Enterprise, MBE)的完整数字化应用体系^[7],如图 1 所示。

MBSE 包括需求和功能分析,以及系统架构设计流程,实现需求管理、功能定义、设计综合,以及验证和确认过程管理。

MBE 包括自顶向下结构设计流程、工程 BOM、MBD 三维模型定义规范、零部件模型检查工具和基于产品成熟度的设计-制造协同机制。

基于模型的制造(Model Based Manufacture, MBM)包括基于三维模型的零件工艺和装配工艺设计、MBOM、三维操作性作业指导书和三维自动化检测。

基于模型的服务(Model Based Service, MBS)包括基于模型的发动机电子出版物、服务 BOM、基于模型的发动机维修分析和基于飞行数据的发动机维修预测。

3 MBD 应用原则

MBD 技术在商发的全面落地遵循以下原则:

(1) 保证应用先进性和创新性。借鉴国外航空制造业 MBD 应用的成熟基础理论和工具,着力在工具成熟度和应用范围上进行再创新、再发明。将 MBD 应用与以精益为目标的工作优化相结合,按六西格玛 DMAIC+ 方法论进行系统推进。

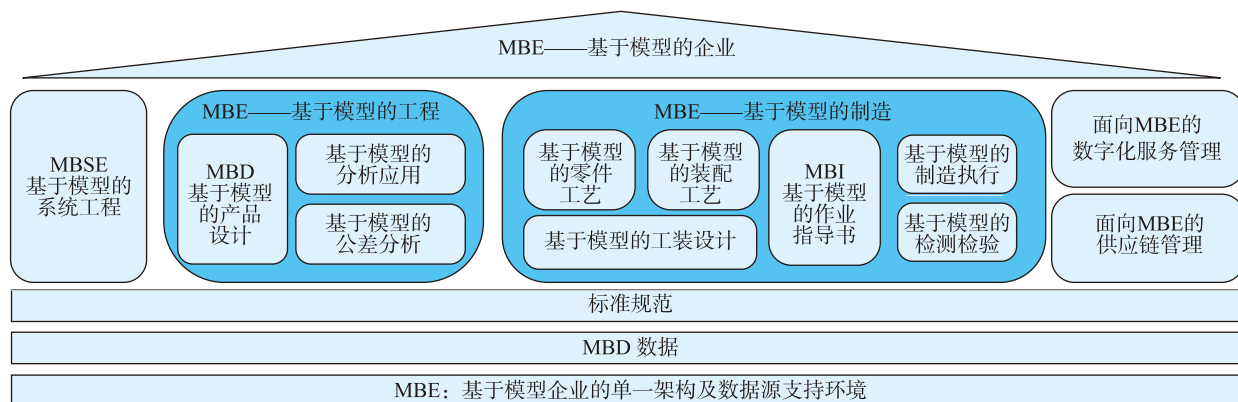


图1 基于模型的企业 (MBE) 完整架构

Fig.1 Complete architecture of model based enterprise (MBE)

(2) 保证足够应用广度。以 MBD 技术在商用航空发动机设计和制造过程中的全面应用为目标,数字化样机的建立应使 MBD 应用扩展到整个协同环境,贯通于生命周期各阶段和整个产业链。

(3) 保证足够应用深度。MBD 应用应全面支持产品开发的核心理业务流程,实现设计与设计协同、设计与分析、设计与制造工艺协同。通过 MBD 应用支撑产品研发的系统工程过程,实现在生命周期的早期阶段发现更多问题,支撑实现虚拟产品的“可视化”决策。

(4) 夯实技术基础。建立 MBD 标准和规范体系,统一典型零部件和整机的建模流程和方法。注重知识的捕获和重用,预先建立大量标准件模型,绘制叶片、盘、轴等特征相似零件的标准模型,提高典型零部件参数化设计水平。

MBD 应用实践

1 MBD 创新导入的方法

一般技术创新过程的线性范式,可分为发明-开发-设计-中试-生产-销售^[8-9]等阶段。商发借鉴该范式,根据技术特点和型号研制节点要求,规划 MBD 应用技术导入方法路线图如图 2 所示。

(1) 发明阶段。完成 MBD 应用

业务流程和数字技术研究,结合业务需求进行再设计和验证。组成由业务专家牵头,各设计部门和信息化部门骨干参与的研究团队,覆盖设计、材料、工艺等关键角色,选取典型部件,完成设计流程定义,突破关键技术,完善验证环境建设,形成设计标准和操作规范,提升 MBD 应用成熟度等级至 3 级。

(2) 中试阶段。开展 MBD 应用技术数字化原理工具开发与验证,完成真实环境下基础部件设计全过程及相应数字化工具的验证。选取零件数量适中、制造工艺较成熟的组件,对 MBD 的主线流程进行试运行,验证其可行性,提升 MBD 应用成熟度等级至 4 级。

(3) 拓展阶段。完成 MBD 在设计活动中的全面应用与验证。从在研项目中选取核心机试件,试点应用自顶向下设计流程,验证总体结构与部件结构设计流程的协同机制,提升 MBD 应用成熟度等级至 5 级。

(4) 延伸阶段。完成 MBD 在制造阶段的拓展应用与验证。从压气机、燃烧室、涡轮部件上各选取 2~4 个组件,试点验证典型零件的 MBD 建模规范,并与制造厂试运行设计-制造并行协同机制,提升 MBD 应用成熟度等级至 6 级。

(5) 全面应用和持续优化阶段。

在所有型号全面应用 MBD 技术,新的设计流程和平台在真实设计环境中得到全面应用和验证,提升 MBD 应用成熟度等级至 7 级。

2 MBD 创新导入的应用实践

2.1 发明阶段建立自顶向下设计流程
组成由技术专家牵头,设计、标准化和信息化等人员组成的联合工作组,开展测量、分析和部分改进阶段工作。

以支撑自顶向下设计模式的“骨架模型”应用为核心,完成对发动机总体结构设计流程、压气机部件结构设计流程、设计标准和数字化工具定义。定制 MBD 应用标准模板和环境,补充开发产品制造信息 (PMI) 制造传递、公差标注快速查询定位 PMI 标注等功能插件,形成 MBD 基础应用环境。

这一阶段的核心工作是完成与商发技术水平相适应的多级航空发动机模型成熟度定义。在实际工作中,形成相应 4 级成熟度,定义如下:

(1) M1 等级。该等级为概念设计阶段的模型等级划分,主要反映总体控制模型和总体模型的结构信息与约束要求,可以包括但不限于各部件初步结构方案、各部件及系统初步定义坐标系、基本外廓尺寸等信息,同时模型架构能够反映单元体及部件编号、名称等信息。

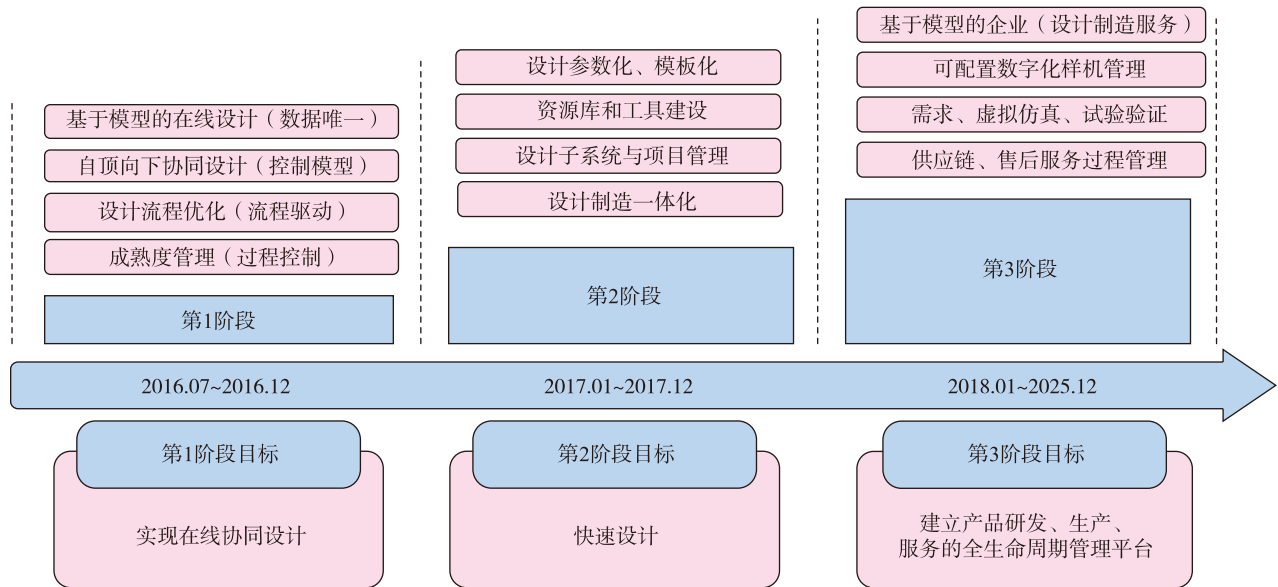


图2 MBD应用技术导入方法
Fig.2 Import method of MBD application technology

(2) M2 等级。该等级为概念设计阶段模型等级划分,反映总体控制模型、部件控制模型、部件模型等的结构信息与约束要求,可以包括但不限于各部件及系统结构方案、各部件及系统结构设计坐标系、整机外廓尺寸信息、主要零件材料等信息,同时模型架构能够反映零件级编号、名称等信息。

(3) M3 等级。该等级为初步设计阶段模型等级划分,反映总体控制模型、部件控制模型、部件模型等的结构信息与约束要求,可以包括但不限于各部件及系统零组件详细尺寸及公差、主要基准、形位公差等信息,同时模型架构能够反映零件级编号、名称等完整设计 BOM 信息。

(4) M4 等级。该等级为详细设计阶段模型等级划分,反映总体控制模型、部件控制模型、部件模型等结构信息与约束要求,可以包括但不限于部件及系统零组件详细尺寸及公差、主要基准、形位公差、表面粗糙度、表面处理、热处理、连接形式、制造检验等完整设计信息,同时模型架构能够反映零件级编号、名称等完整设计 BOM 信息。

在实施及验证过程中,选定长江发动机压气机叶片和盘的设计为试点,以气动设计结果为输入,重构 MBD 结构设计流程,形成 60 余份 MBD 设计标准或建模规范,搭建产品数据管理平台和 CAD 高度集成的数字化平台。基于 4 级成熟度定义,实现发动机整机、各部件及系统层级的控制模型、模型的关联,完成与设计集成平台系统和项目管理系统集成。

完整执行一轮压气机部件自顶向下设计过程,验证和优化设计流程、设计标准和数字化工具。同步在产品数据管理平台中建立产品模板库、标准化零件库等资源库。

结构协同设计流程中采用的自顶向下的设计方法,由总体结构首先确定发动机各单元体的位置、接口关系和顶层产品结构,并分发给下游部件开展进一步的接口细化和结构方案布置工作。通过对设计边界的逐步细分和产品结构的逐层细化,逐步构建出发动机的整体轮廓和细节结构,最后将完成详细设计的零件再反过来装配成发动机整机,实现接口分解到重组的结构正向设计过程,如

图 3 所示。为了支撑发动机自顶向下结构设计,在传统的发动机模型基础上参考飞机骨架模型的概念,引入了发动机控制模型。发动机控制模型是为实现协同设计而建立的一种数字模型,是模型的设计依据或定位依据,具体原理见图 4。

2.2 中试阶段建立设计-制造并行协同机制

开展改进阶段对解决方案的进一步针对性完善工作,以及控制阶段中的整体验证和优化。该阶段的主要工作是结合前一阶段定义的模型成熟度等级,研究设计端与制造端的协同工作内容、数据交互机制,在实际工作过程中形成工作成果。

(1) M1 阶段。设计方完成概念设计,形成 M1 模型;制造方开展需求跟踪及能力评估,完成制造技术能力水平评估。该阶段协同工作的重点是设计方根据产品设计要求建立发动机整机初步方案,制造方了解产品特性及工艺要求,并评估自身制造技术能力水平。

(2) M2 阶段。设计方完成结构设计,形成 M2 模型;制造方开展工艺准备工作,形成工艺性评估报

告、工艺设计规划。该阶段协同工作的重点是制造方从工艺路径规划角度对结构设计方案提出建议,设计方和制造方以结构方案为基础,确定工艺总方案和选用材料。制造方根据预发放的模型数据开展关键工艺攻关、毛坯及零件技术准备、准备采购计划等工艺准备。

(3) M3 阶段。设计方开展打样

设计,形成 M3 模型;制造方开展工艺协调,形成工艺路线和流水、工装(模具)方案涉及、材料采购、铸造工艺准备。该阶段协同工作重点是双方就可能影响工艺性的结构问题进行协商,制造方从工艺路径设计角度对结构提出建议,并将工艺准备过程中的问题提交讨论。制造方根据预发放的模型数据初步构建制造 BOM

及流水旧编号、采购毛坯原材料、开展主要工艺工装的方案设计。

(4) M4 阶段。设计方开展工程设计,形成 M4 模型;制造方开展工艺审查和会签,正式构建制造 BOM,完成工艺规程、工装模具设计。该阶段协同工作重点是就逐步完善的模型进行协调,完成模型的工艺会签。制造方完成初步的工艺设计时,向设

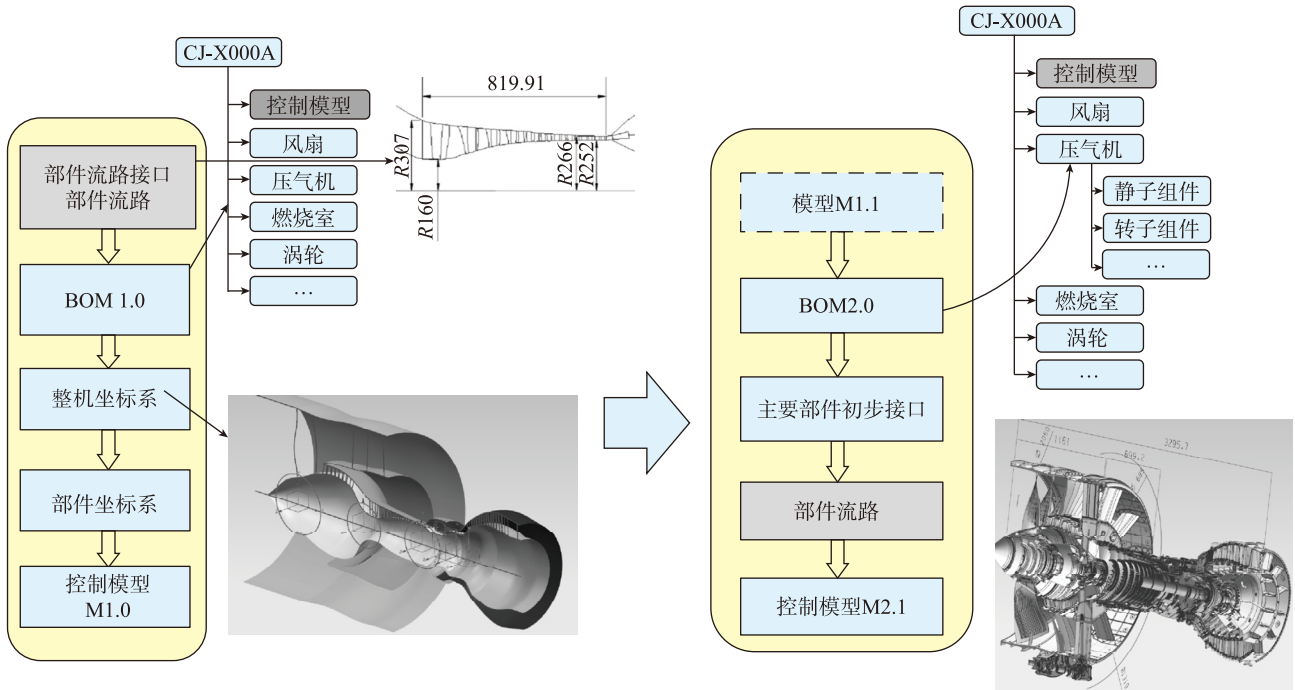


图3 发动机自顶向下的结构设计示意图

Fig.3 Schematic design of top-down structure design of engine

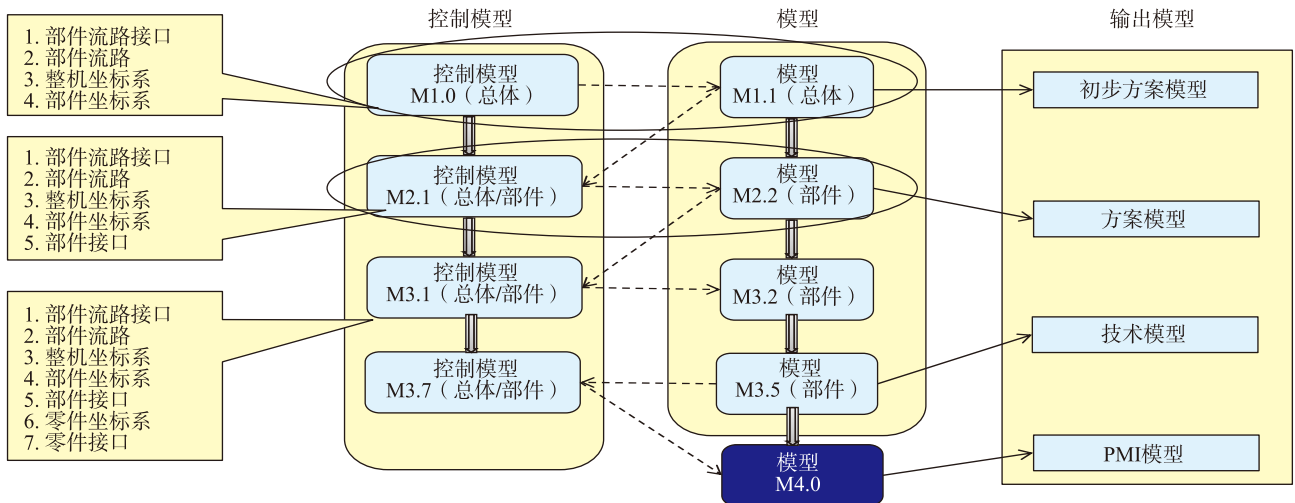


图4 不同阶段控制模型和不同成熟度模型间关系

Fig.4 Relationship of different maturity models and control models at different stages

设计方提供零件工艺路径,设计方分析其合理性并作为设计改进的依据。制造方根据正式发放的模型构建完整的制造 BOM、编制工艺规程、开展工艺试验验证及产品试制。

2.3 拓展阶段构建数字化工艺设计体系

商发将装配工艺设计与管理业务过程细分为 14 个关键业务场景,开展业务流程定义和优化、数字化工具开发和通用技术标准编制工作,将 MBD 应用技术从设计环节延伸至制造/装配环节,打通装配工艺设计业务链,主要开展了以下 5 个方面的工作。

(1) 基于模型的装配工艺任务规划。承接产品设计 EBOM、三维产品模型数据,根据装配工艺业务需要可以直接基于模型构建顶层装配工艺 BOM,完成装配工艺设计任务的分工指派,将工艺设计任务与所关联的模型数据下发给工艺设计人员。

(2) 基于模型的装配工艺/工装仿真验证。工艺设计人员接收到下发的工艺设计任务和模型,通过客户化编辑工具完成结构化装配工艺 BOP(工艺、工序、工步)编制,定义层次化工艺数据节点、工艺流程,完成工艺资源、装配对象的关联。实现对工艺数据的客户化汇总统计和定制化输出,包括各种工艺明细表、报表、目录、工艺文件等可以对工装设计过程和模型进行管理,实现与装配工艺设计过程并行,支持在设计过程中开展装配工艺/工装仿真验证。可以通过集成接口将装配工艺 BOP 数据传递到仿真验证环境系统中,完成基于模型的装配路径分析、装配干涉检查、装配和拆卸操作顺序分析等,生成装配验证报告。

(3) 基于模型装配工艺可视化输出。实现对三维可视化装配工艺作业指导书的管理,包括查看工艺作业指导书详细内容、动态操作过程,

完成指导书审批、发放。

(4) 打通从 PDMI 到工艺系统到 MES 的数据链路。实现与 PDM、MES 系统的集成,完成产品数据、结构工艺化工艺数据的传递、共享。从基于文件的工艺设计转变到基于模型的工艺数据定义和仿真验证,在数字化制造环境下真正发挥工艺环节的桥梁作用,有力支撑设计、工艺、制造一体化集成业务应用。

(5) 实现三维可视化装配工艺作业指导。参照数字化装配工艺 BOP 数据,并将相关产品模型、资源模型等数据导入到电子作业指导书制作工具系统中,定义每一个装配操作工步的详细内容、技术要求、物料信息等,结合三维模型对具体装配动作过程进行了可视化的动态展现。

2.4 延伸阶段推动建立主研制单位牵头的全产业链应用同一套 MBD 标准的应用体系

将经过初步验证的 MBD 应用技术,向合作伙伴及供应商推广,提升全产业链协作水平,推动形成覆盖全生命周期的 MBD 应用技术标准。

3 总体应用效果简析

基于 MBD 的数字化设计与制造技术的应用,相比传统研制模式,主要的优势在于以下 3 个方面:

(1) 提升设计单元数据的可复用性,提升设计效率。

(2) 便于开展设计检查,减少错误发生率。

(3) 提升工艺提前介入设计活动的便利性,促进了设计与制造活动的并行开展。

以上优势,最终体现结果都是设计效率提升和研制周期的缩短,这一点在该项目的验证过程中都得到了确认。

设计环节选取长江发动机项目中传动系统中央传动齿轮箱设计工作作为试点,开展 MBD 应用验证。与传统设计手段相比,应用 MBD 技术,

中央传动齿轮箱设计周期由 16 个月降至 8 个月,缩短 50%;试制周期预计由 19 个月降至 6 个月,缩短 68%;工艺设计现场问题协调单数量由 74 份减至 33 份;实现多人协同的打样图设计模式。

在制造环节选取长江发动机各部件典型整机/零件为试点,采用“部件设计团队-制造供应商”结对开展的方式与 6 家主要供应商开展推广应用。双方形成固定的试点工作团队,开展以三维 PMI 标注在加工制造过程中的应用为主的试点工作,完成基于商发工具软件版本的 MBD 专用程序二次开发,提高 MBD 模型建立的规范性和高效性,探索了工艺提前介入设计活动的可行性。

制造端选取长江发动机低压涡轮数字化装配工作进行验证,开展 MBD 工艺设计应用实践,完成基础数据准备和导入、结构化工艺 BOP(工艺模型结构)编制、装配工步虚拟仿真验证、三维动态作业指导书编制等工作,应用效果达到了预期。

结论

通过 MBD 长江发动机等型号上的实践项目的实施,商发初步攻克了 MBD 设计、制造的相关技术,为未来在更大范围内开展设计-设计协同、设计-制造协同奠定了基础。同时,通过该项目实施,总结了一套行之有效的数字技术导入和业务融合的实施方法论。

在 MBD 技术实施应用过程中,也反映出航空发动机研制和管理工作的复杂性。仅仅 MBD 还无法完全实现提高大型复杂系统的设计质量、减少制造交货时间,以及减少工程变更、减少产品缺陷、提高首次质量等目标。解决以上问题,需要将 MBD 技术进一步拓展应用到基于模型的企业的更高层次。

MBE 是 2005 年美国军方与核心制造企业联合推出的“下一代制造技术计划”的一部分,致力于推动在整个企业和供应链范围内建立一个集成和协同化的环境。MBE 由 MBSE、基于模型的工程、基于模型的制造、基于模型的维护为重要组成部分,各部分采用系统工程的方法和流程进行组织和运行,最终完成产品模型构建与定义,建立设计、工艺、生产、质量、维护、采购、成本等过程模型和信息模型,以网络为中心实现数据的无缝传递与流转,并采用统一的可视化手段,保证各阶段的数据预览与重用,这也将是 MBD 未来发展应用的必然方向。

参考文献

- [1] The American Society of Mechanical Engineers. ASME-Y14.5 geometric dimensioning & tolerancing[S]. New York: ASME, 2017.
- [2] 周秋红, 范玉清. MBD 技术在飞机制造中的应用[J]. 航空维修与工程, 2008(3): 55-57.
- ZHOU Qihong, FAN Yuqing. Application of MBD on airplane manufacturing[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2008(3): 55-57.
- [3] 冯潼能, 王铮阳, 孟静晖. MBD 技术在数字化协同制造中的应用与展望[J]. 南京航空航天大学学报, 2012, 44(4): 132-137.
- FENG Tongneng, WANG Zhengyang, MENG Jinghui. Application and development of MBD in digital collaborate manufacturing[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2012, 44(4): 132-137.
- [4] 白永红, 梁可, 周盛, 等. 基于 MBD 的飞机设计制造关联技术探讨[J]. 航空制造技术, 2015, 58(18): 40-44.
- BAI Yonghong, LIANG Ke, ZHOU Sheng, et al. Research on the cooperative association of aircraft design and manufacturing based on MBD[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(18): 40-44.
- [5] Wikipedia. Digital twin[R/OL]. [2018-01-05] https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_twin.
- [6] 刘亚威. 数字线索提升航空产品寿命周期决策能力[C]// 第 3 届中国航空科技大会会议. 北京, 2017.
- LIU Yawei. Better decision enabled by digital thread in aviation product lifecycle[C]// The 3rd China Aeronautical Science and Technology Conference. Beijing, 2017.
- [7] 西门子中央研究院. 工业 4.0 实战[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- Central Technology of Siemens. On the way to 'INDUSTRY 4.0' [M]. Beijing: China Machine Press, 2016.
- [8] 约瑟夫·熊彼特. 经济发展理论[M]. 王永胜, 译. 北京: 华夏出版社, 2015.
- SCHUMPETER J A. The theory of economic progress[M]. WANG Yongsheng, tran. Beijing: Huaxia Publishing House, 2015.
- [9] 林如海, 彭维湘. 企业创新理论及其对企业创新能力评价意义的研究[J]. 科学与科学技术管理, 2009(11): 118-121.
- LIN Ruhai, PENG Weixiang. Perspectives on enterprise innovation theories and their significance in appraising the enterprise innovation ability[J]. Science of Science and Management of S.&T, 2009(11): 118-121.

通讯作者: 张玉金, E-mail: aviczyj@126.com。

Study of Construction Method for Commercial Aero-Engine Design and Manufacturing Based on MBD

ZHANG Yujin

- (1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;
2. AECC Commercial Aircraft Engine Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

[ABSTRACT] Design and manufacturing of commercial aero-engine is facing enormous challenges, the utilization of digital technology is crucial means to establish the independent research and development system of commercial aero-engine. Model based definition (MBD) is the key technology to develop digital engineering ecosystem for the digital design and manufacturing of complex products. Through the deepening application of MBD, it has substantial significance for the construction of digital research and development pattern of commercial aero-engine in our country. This article studies the state of art of MBD technology at home and abroad, and elaborates the planning framework and thought of digital collaboration platform based on MBD technology. By reference to the linear paradigm of technology innovation process, it proposes the methodology for the utilization of MBD technology, and summarizes the work practice and achievements of MBD technology application on commercial aero-engine projects in ACAE, and prospects the application paradigm of MBE (model based enterprise) in the future.

Keywords: Commercial aero-engine; Model based definition (MBD); Digital design; Digital manufacturing; Model Based Enterprise (MBE)

(责编 铃兰)