

MBD 技术应用中的若干问题思考

Reflection on Problem in MBD Technology Application

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 莫蓉



莫蓉

博士,教授,航空宇航制造工程学科博士生导师。主要从事 MBD、3D 工艺设计、智能化设计、知识重用、知识挖掘等方面的研究。主持国家自然科学基金、国家 863 项目等各类基金项目 10 余项;获国家科技进步二等奖 1 项,省部级科技进步奖一等奖 2 项,发表学术论文 200 余篇,出版专著、教材 6 部,SCI、EI、ISTP 检索 100 余篇。

MBD 技术是以 3D 模型为载体,面向产品全生命周期的设计、制造、维护,并将与产品相关信息以数字化定义的方式嵌入到 3D 模型中^[1-3],为产品全生命周期不同阶段对信息的需求提供基础源模型,以便在此基础上进行信息的添加、裁剪、组合。

虽然制造业已对 MBD 技术形成共识并得到初步应用,MBD 技术应用支撑环境也已具备,但目前应用的广度和深度仍不能满足要求,原因何在?背后隐藏的是什么?本文针对近年来 MBD 应用中的一些现象和问题进行了分析,希望能够引起重视和讨论。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.18.026

近年来,MBD 技术已逐步应用到我国多个行业,特别是航空制造业,并且已取得了突破和成效,如产品设计、工艺、工装、检测、装配、标注、标准。

不同于早期国内推行的“无纸化(paper-less)”将人工制图变为电子制图,本质上并没有改变产品数据定义的模式,制图仍是工程师的语言,但设计效率大为提高。而 MBD 的全三维设计“无图化(Drawing-less)”方法则从根本上改变了产品的数字化定义方式,取消了制图模式,将制图承载的产品结构信息、加工要求、装配要求、检测要求等信息融合到 3D 模型中,使得 3D 模型成为工程师的新语言,从而有效支持上下游间的协同设计、信息共享。虽然

制造业已对 MBD 技术形成共识并得到初步应用,MBD 技术应用支撑环境也已具备,但目前应用的广度和深度仍不能满足要求,原因何在?背后隐藏的是什么?本文针对近年来 MBD 应用中的一些现象和问题进行了分析,希望能够引起重视和讨论。

不同阶段 MBD 技术的应用

1 产品设计中的 MBD

产品设计阶段一般分为方案设计、详细设计和工程设计,方案设计关注总体布局,详细设计关注 3D 精确建模,工程设计关注制造信息表达。3 个阶段的 MBD 模型应建立关联关系,形成产品设计信息无缝共享和集成。

1.1 MBD 与方案设计

复杂产品总体设计,一般不包含详细几何模型,主要根据功能进行总体布局(例如气动布局和结构布局)、确定结构分离面(例如各部件定位基准、坐标系)、构建关键几何元素(主体框架或大致轮廓),为部件、组件、零件的详细设计提供自顶向下的可分解框架。目前许多单位仍采用2D CAD系统构建总体结构,缺乏2D图形和详细设计中3D模型之间的关联,从而形成2D图形和3D模型之间的“缝隙”,破坏了MBD的数据源唯一性。可能的解决方案是在3D CAD系统中建立总体结构框架,用2D草图代替2D CAD系统的图形,使2D图形具备参数化和相互之间的关联,成为3D设计源头,从而为方案设计到详细设计的3D模型构建和关联提供支撑。

1.2 MBD与详细设计

MBD应用最为成熟的阶段,主要完成零件的3D建模和装配以及相关属性信息表达。由于复杂产品的优化仿真需求,在多学科协同优化中,3D模型能否成功转换和快速修改已成为影响“设计-分析-修改”迭代效率的关键。

(1)模型转换问题:CAD-CAE模型转换经常失败,这是因不同应用系统间表达形式和精度不同,造成模型拓扑结构发生变化,可能的解决方案:利用专用模型修复工具;不同应用系统在精度上尽量保持一致;选择合适的中性文件作为传递模型。

(2)参数更新问题:带有复杂自由曲面的3D模型参数修改后经常更新失败,不仅造成3D模型无法更新,而且造成与模型关联的其他模型的更新无法进行。可能的方案是:适当地弱化关联性,建立局部特征关系,更新失败后只对局部受影响的构造进行修改,但一般仍无法解决对下游的关联自动更新问题。采用不基于历史的直接建模(又称为同步建模)是一种可行的方法,具有更大的

建模自由度。

1.3 MBD与工程设计

该阶段主要进行制造信息标注和3D公差设计,为制造提供依据。

(1)标注内容问题:标注内容不仅是为下游提供制造依据,而且是设计-工艺协同的桥梁,属标准制定范畴,目前对于是否全标注存在争议,将在后面进行阐述。

(2)3D公差设计:公差受装配要求、互换性和制造成本的约束,如何优化和验证合理的公差,在2D公差分析中比较困难,MBD技术则为3D公差优化分析提供了可能性。3D公差优化不能局限于简单查表的标注,而需要进行3D公差优化和仿真,获得合理的公差布局和最低制造成本,这部分内容还处于起步阶段,但却是企业较为关心的内容。

(3)审批流程中的模型审查:3D模型的审图会由于设计模式的改变而不适应,应针对产品结构和工艺要求,把3D视图和对应的标注分解为多视图,将相关视图和尺寸表达在一个视图中,逐步改变审图习惯。

2 工艺设计中的MBD

不同于产品设计,工艺设计是一种多态模型的演变过程,从毛坯到零件,或从零件到装配,形成一系列中间状态模型,涉及诸多内容。工艺差别大:冷加工工艺、成形工艺(铸造、锻造、钣金等)、装配工艺、特种工艺,不同工艺模型有不同的表示形式;加工方法多:车、铣、刨、磨、钻等加工算法不同,对模型的制造特征表达要求不同;工序模型拓扑变化方法不同:沿毛坯-工序-零件的正向设计是添加特征和处理功能,而沿零件-工序-毛坯的逆向设计是特征抑制功能;层次多且关联性要求强:工艺-工序-工步之间3D模型的继承性和有效性;表达形式多样性:如工艺结构树、工艺表格、3D模型、工艺描述文本、工艺动画仿真,包含了结构化和非结构化信息;模型信

息可编辑性和展现多样化:3D工序模型和工艺文件的可编辑性、与可编辑模型关联的轻量化模型、PDF文件的表示;制造资源多:机床、工装(刀具、夹具、模具和测具等),且工装模型既受零件模型制约,自身也进行设计制造;中差建模:所谓中差建模是指以对称公差的形式表达公差,在工艺设计中,中差建模不但可以简化计算,而且易于减少误差,在质量控制、互换性方面具有优势,从国外转包生产调研中也发现大量使用对称公差,但在国内MBD环境下中差建模的必要性仍存在较大争议,中差模型对制造质量和装配的影响还有待于研究。

2.1 MBD与机加工艺设计

从毛坯到零件的切削过程,反映了3D多态模型的演变和对应的工艺信息关联(毛坯-工序模型1-工序模型2...零件),涉及3D模型本身的几何形状改变。

(1)工序模型的构建。目前工序模型的建模效率成为影响机加工艺设计的瓶颈。一般来说,相邻工序模型间的变化存在两种形式:参数变化和拓扑结构变化。参数变化反映了加工余量的变化,对应工序的粗加工-半精加工-精加工,加工部位基本相同,可采用参数化修改功能;拓扑结构变化反映了工件加工部位发生变化,对应工艺加工方法的改变,需在工序模型上通过特征操作进行局部形状的修改,这部分工作要求工艺人员有较好的3D建模基础。其中涉及2个问题:一是相邻工序模型间的信息继承。为提高效率,重用工序模型,实现增量式修改,当前工序模型首先要继承前道工序模型,利用模型间关联性复制功能建立相邻工序的3D模型。二是当前工序模型的加工特征快速构建:在继承前道工序模型基础上,根据工序要求对当前工序模型进行局部特征构建并去除对应的实体。由于工艺正向设计和逆向设计模型变化顺序不同,因

此模型的特征表示方法亦不同。正向设计(毛坯-工序1-工序2...零件)模拟实际加工逐步去除材料,待去除材料由去材特征表示,它受相邻2道工序的形状和尺寸约束,构建时需建立几何关联特征。逆向设计(零件-工序 n -工序 $n-1$...毛坯)工序模型从零件开始通过添加去除特征对应的实体逐步变为毛坯。通过特征抑制还原去材特征的实体是最方便的方法,但在下列情况下失效:草图特征内包含多个去材特征时无法抑制当前工序的去材特征;设计特征与去材特征不对应抑制的特征,对此也需构建去材特征补充模型实体。对复杂工序有时还需采用正向-逆向混合方法修改局部去材特征。工序模型的构建工作量较大,对工序建模效率有较大影响,目前采用人工方法构建去材特征的效率较低,完全实用的自动构建方法还有待开发。

(2)工序改变引起的工序模型如何变化。工序变化可能使多态模型链中工序模型自动更新失败从而影响更改效率,工序模型关联链中断有多种情况,包括改变工序顺序、增加工序、删除工序、模型参数化更新失败,其中出现任何一种情况都会影响工序模型的自动更新,关联链断点位置越靠前,对后续模型影响越大。解决思路是:对前3种情况,需重新建立相关的模型间引用复制关系以及重新构建去材特征;对第4种情况,与产品设计中的更新问题属于同类。

(3)工序模型的简化。在2D工序图形表达时,为了突出当前工序的加工部位可忽略其他无关部位,一般采用波浪线截断图形进行简化,但在3D环境下复杂零件要突出加工部位需要对工序模型进行实体去除。可能的解决思路是,对于不涉及标注的几何对象,可以对当前工序模型采用特征抑制和模型修剪或剖切的方法。

(4)局部小修改。2D情况下为提高效率和明确责任,图纸被作为制

造依据。对于一些工艺问题,企业一般直接在图纸上进行局部小修改并予以标记和签字,以避免每次修改都重新审批。为了保证数据有效性,标记的图纸必须保留,但是很难追溯。在3D情况下,任何修改必须在3D模型上进行,可能会带来效率和额外的审批问题,因此需找出一种在效率、数据有效性、审批兼顾的情况下的规范化方法。

2.2 MBD与NC编程

数控编程依赖于经验知识和3D模型、标注的工艺要求。

(1)3D建模质量对数控编程的影响。因产品设计和工艺设计关注点不同,可能会造成复杂零件设计模型难以直接进行数控编程,这也是目前困扰企业的一个现实问题。因此,应加强并行工程中可加工性评价方法研究和工具开发,对模型质量进行评估,同时提高产品设计人员工艺知识,使设计模型直接重用率提高。

(2)工艺信息的自动获取和工艺知识重用。基于MBD的工艺信息与工序模型几何对象是关联的,通过程序开发直接获取制造要求与NC参数关联;工艺参数嵌入到工艺模板中作为典型工艺实例,实现工艺方法的重用。

2.3 MBD与成形工艺

成形工艺主要以模具作为零件成形的工装,包括铸造模具、锻造模具、冷冲模具等,其中多次成形存在零件的多态模型和对应的多套模具模型。特别是航空制造领域的精铸模具、精锻模具、压延模具等,工装设计复杂,不但受零件模型约束,而且延伸出与零件模型相关的模具设计与制造,在数据管理上也非常复杂。

2.4 MBD与装配工艺

不涉及零件模型本身的拓扑结构改变而仅仅是零组件方位发生变化,因此装配模型可以采用轻量化模型,无需关注零件模型细节,可直接采用轻量化模型进行工艺设计和仿

真,目前3D装配工艺系统软件已经获得较好应用。

2.5 MBD与质量检验

在2D图形情况下,检验依据来自于图纸,对不规则形状的检验,GD/T测量与分析较麻烦,其中涉及检验工序的公差数据获取、型面理论值、检测路径规划、测量结果分析等。采用MBD技术,上述信息可通过程序自动从3D模型中获取,通过对测量数据的模型重构与理论模型对比,自动判断是否超差,可以大大提高检验效率。

3 其他阶段中MBD技术的应用

全生命周期中的采购、销售、维护方面,MBD技术的应用基础目前较为薄弱,总体来说,不需要模型的详细信息,可利用与零件模型关联的3D轻量化模型和相关信息。

MBD与标准化

为支持MBD应用,需建立相关标准体系,而不仅是3D标注标准。目前航空制造业已形成或借鉴了一些国际、国内、行业标准,但完整体系尚未建立,某些标准仅局限于企标甚至型号标准;有些甚至还存在争议,特别是设计与制造间模型标注标准。

(1)标注内容。根据MBD定义,3D模型作为完整信息载体,包含了全部信息,但所有信息是否需要显性地标注出来还是仅标注部分值得探讨。目前存在两种观点,还难以形成共识:一是标注全部尺寸,即像二维制图一样,全部尺寸显性标注在3D模型上,制造过程中需要的信息一目了然;二是仅标注关键尺寸,即选择关键尺寸作为完整信息标注的子集进行标注,其他尺寸信息在需要时可从模型提取,可大大减少标注工作量。例如关键尺寸可理解为带公差的尺寸、有配合关系的尺寸。因此,需在设计-工艺协同机制下确定标注内容,定义关键尺寸,实现设计-工艺协同和共享,同时兼顾标注效

率。

(2) 机加工工艺 3D 表达标准。文献 [4] 中提到机加工工艺三维表达的标准问题, 包括内容(哪些内容需要表达)-载体(3D 模型)-输出(样式)的问题。联系到机加工工艺设计结果表达形式和设计过程表达形式能否统一的问题, 需要反映如下信息: 工艺方案(工艺集合)-工艺信息(工序集合)-工序信息(工步集合), 这些信息已有的形式有表格、树、工艺卡(表格+图)等。

(3) 中差模型。有较多企业原来在 2D 环境下进行工艺设计时根据图纸用中差建模, 但 MBD 环境下直接使用 3D 设计模型, 如何从设计模型转换到中差模型, 或者中差模型是否必要都存在争议, 需要在形成共识的情况下以标准的形式确定下来。

MBD 与数据管理

MBD 结合产品数据管理, 建立了信息之间的各种关联关系, 大大提高了信息的集成度和共享程度。

(1) 复杂的关联关系。MBD 模型建立不同层次、不同内容间的关联关系, 如 3D 模型几何对象和标注尺寸关联、3D 模型和制造属性关联、设计模型和工艺模型关联、工序多态模型之间关联、工艺描述文本与模型几何对象关联、工序模型和工装模型关联、工序模型和制造资源关联、3D 模型和轻量化模型关联等。这些关联关系使模型信息间不再孤立, 形成复杂关联信息网, 任何节点都可查询到与之相关的所有设计制造信息, 同时支持信息自动感知和关联更新, 从而大大提高修改效率, 减少出错率。

(2) 程序接口。面向产品生命周期各阶段涉及各类应用程序, MBD 的完整性为各类应用程序提供了单一数据源, 各阶段是在 MBD 单一数据源基础上利用对应阶段的应用程序进行模型信息的裁剪和添加。应用软件系统越多, 数据资源接口越

多, 关系越复杂, 越容易出错。因此, 需要结合 PLM 进行统一管理。在 MBD 环境下, 信息被分类组织管理, 包括几何属性、质量检测属性、管理属性、工艺属性等。

(3) 存档管理。2D 图形以电子化和纸质双备份存档, 由于关联性较弱导致可追溯性较差。MBD 模型的存档规范化是一个需要研究的问题。在无图纸情况下, 存档的 MBD 模型必须保证模型的完整性、有效性, 以前的任何修改必须保证在 3D 模型情况下进行。

MBD 实施中的其他问题

采用 MBD 技术是数字化设计发展趋势, 但目前推广应用困难重重, 它不是一个简单的 2D 图样变换为 3D 模型标注的问题, 而是在设计习惯和设计方法上都发生了较大变化, 因此应用过程中会碰到很多问题。

(1) 面向单一数据源的信息获取: 为保证数据有效性和单一数据源, 应尽可能做到所需数据一次输入多次使用, 减少数据冗余。如引用设计模型可自动保持单一数据源; 对企业间存在不同 PDM 系统, 无法保证严格意义上的模型引用, 可采用关联性复制形式, 复制模型与原设计模型保持同步更新; 其他辅助工具, 如扫描二维码实现一次性输入多次使用。

(2) 关于二次开发: 开发分为定制开发和二次开发, 前者根据企业需求利用软件系统的功能进行定制, 包括利用各种模板、各种规范满足企业要求。在定制化开发不能满足需求时, 可采用二次开发进行功能扩充, 例如几何模型快速建模工具、GB 标注符号扩充、面向专业的功能模块、数据信息自动获取、与企业其他系统集成等, 但是一般二次开发成本和维护成本较高。

(3) 设计习惯的不适应: 新技术的出现都有一个适应期, 采用 3D

CAD 进行工艺设计对工艺人员提出了较高要求, 需要通过技术培训, 提高认识, 掌握 MBD 技术的应用。

(4) 直接在型号中应用的风险: MBD 技术的应用推广是循序渐进的过程, 在型号中直接应用对于数字化基础较为薄弱的企业存在一定风险, 应建立相关的 MBD 标准规范, 提出一个实施计划, 培训人员, 以点带面, 逐步深入应用。

(5) 产学研联合: 如企业-学校-公司联合, 其中企业是 MBD 的应用主体; 学校是科研关键技术攻关的主力, 可承担先期研究和二次开发; IT 公司是 MBD 技术的软硬件平台提供者, 三者结合, 从工具、管理模式、培训服务到成功案例引导, 为企业深入应用提供技术支持。

结束语

MBD 技术在波音飞机和国内的成功应用已经表明它所具有的强大生命力, 在国内实施 MBD 是一项艰巨的任务, 需要改变传统的设计模式, 需要方便的支持工具。本文从近几年实施 MBD 过程中总结了一些问题, 希望能够对 MBD 的推进有一定作用。

参考文献

- [1] Alemanni M, Desterfanis F, Vezzetti E. Model-based definition design in the product lifecycle management scenario. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009, 52(1-4): 1-14.
- [2] Quintana V, Rivest L, Pellerin R, et al. Will model-based definition replace engineering drawings throughout the product lifecycle? A global perspective from aerospace industry. *Computers in Industry*, 2010, 61(5): 497-508.
- [3] Briggs C, Gerald B. Model based definition. *Proceedings of 51st AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*. Orlando: AIAA, 2010.
- [4] 赵晓峰, 周以齐, 魏威, 等. 三维 CAD 支持的 MBD 设计模式的几个关键技术. *航空制造技术*, 2013(23/24): 44-49.

(责编 谷雨)