

工程师的新语言——基于模型的定义

New Language of Engineer – Model Based Definition

北京航空航天大学 巫鹏伟 卢 鹤 于 勇 周秋忠 范玉青

[摘要] 传统的产品定义技术主要以工程图为主,通过专业的绘图反映出产品的几何结构以及制造要求,实现设计和制造信息的共享与传递。基于模型的定义以全新的方式定义产品,它以三维产品模型为核心,将产品设计信息、制造要求共同定义到该数字化模型中,使 CAD 和 CAM (加工、装配、测量、检验) 等实现真正的高度集成,不再使用工程图纸。

关键词: 数字化 工程图 基于模型的定义

[ABSTRACT] Traditional product definition technology, mainly uses engineering drawings, which illustrates geometric structure and manufacturing requirements of product by drafting on papers, and is used to share and delivery design and manufacturing information. Model based definition is a new method completely, with the core of the 3D model. It integrates information of design and manufacturing into the model, allowing the CAD and CAM (processing, assembling, measuring, testing), etc. to achieve high degree of integration, no longer uses engineering drawings.

Keywords: Digital 2D drawings Model based definition

1795 年法国科学家蒙日系统地提出了以投影几何为主线的画法几何,把工程图的表达与绘制高度规范化、唯一化,工程图便成为工程界常用的定义产品的语言。20 世纪后期,随着计算机技术的不断发展,CAD 技术与各种先进设计以及制造技术迅速结合并飞速发展,尽管工程图在引进 CAD 技术后发生了巨大的变化,但仍难以克服自身的不足,很难满足先进制造技术的各种要求。美国波音公司是世界航空企业的霸主之一,其技术水平代表着制造领域内的最高水平。经过长期的技术累积、探索和实践,波音公司在波音 787 飞机中全面推出了一种完全不同于工程图的、全新的定义产品技术——基于模型的定义(Model Based Definition,MBD)。

1 MBD 的定义

MBD 指在三维模型中集成公差、尺寸等注释性标

注、产品设计信息、制造要求等以对产品进行全面描述,并灵活满足该产品在全生命周期中各种需求的一种数字化的定义产品方式。集成了产品各种相关数据、要求的三维模型文件,被称为数据集,如图 1 所示。它取代了工程图纸成为协同设计共享中的唯一授权资料,设计、工艺、制造等方面的人员共同围绕该 MBD 数据集进行产品的设计、制造、检验等一系列工作^[1]。

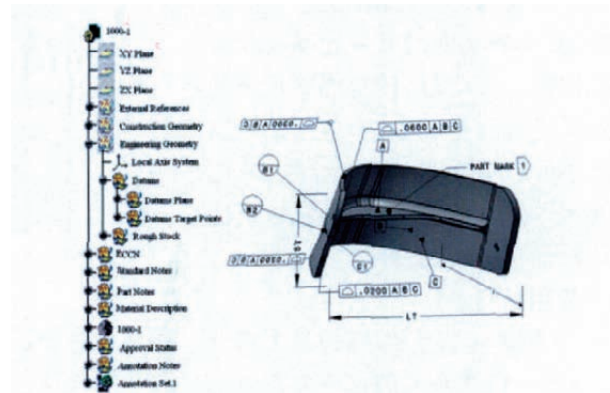


图1 MBD数据集
Fig.1 MBD Dataset

目前, CATIA、UG 等 CAD/CAE 系统尤其是 CATIA 中的 Functional Annotation & Tolerance 模块,已经能很好地支持对产品进行基于模型的定义。

2 MBD 数据集的内容

MBD 数据集的内容主要包括 2 个方面: 几何信息和非几何信息。几何信息主要指产品几何形状信息,即数据集中的产品三维模型; 非几何信息主要包括尺寸和公差的标注、表面粗糙度、表面处理、热处理方法、材质、结合方式、间隙的设置、连接范围、润滑油涂刷范围与颜色、要求符合的规格与标准等内容。

2.1 非几何信息的表达

CATIA V5 所具备的特征树(见图 1)是管理 MBD 数据集中非几何内容的有力工具。表 1 中列出了对于一般零件的 MBD 数据集的内容项。对于装配件,除了应按照表 1 中的内容项进行定义外,还应按表 2 中的内容进行定义。

表1 一般零件MBD数据集的内容项

内容项	说明	适用范围
PartNumber	零部件号	必须
xy plane	xy基准面	默认
yz plane	yz基准面	默认
zx plane	zx基准面	默认
PartBody	零部件体	必须
Axis Systems	坐标系统	可选
Parameters	参数	可选
Relations	关系	可选
External References	外部基准	可选
External Parameters	外部参数	可选
Engineering Geometry	工程几何	可选
Construction Geometry	构建几何	可选
Miscellaneous Geometry	其他几何	可选
Approval Status	审核状态标记	必须
ECCN	出口控制标记	可选
Standard Notes	标准说明	必须
Part Notes	零部件注释	必须
Annotation Notes	标注说明	必须
Reference Geometry	参考几何	可选
Material Description	材料描述	必须
Annotation Set	标注集	可选
Datum Targets	基准对象集	可选
Publication	发布数据	可选

表2 装配件MBD数据集特有的内容项

内容项	说明	适用范围
Joint Definitions	装配连接定义	必须
Shim Definitions	垫片补偿定义	可选
Sealant Definitions	装配密封定义	可选

(1) External References (外部基准)。

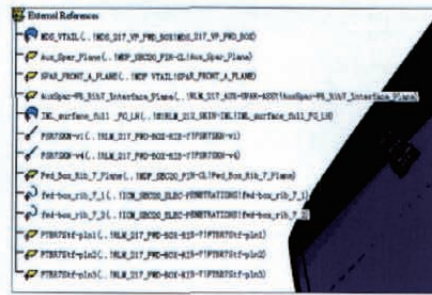
外部基准是模型中的一个关联到其他父产品实例的局部几何元素,这一局部元素是父子产品模型间关联关系的载体。外部基准必须随时维护并且必须是已经发布的全局性几何元素或参数,如图2(a)所示。Reference Geometry (参考几何)与之类似。

(2) Engineering Geometry (工程几何)。

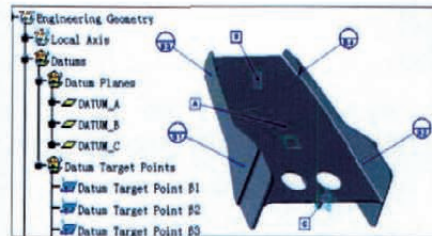
工程几何信息是对最基本且必需的建模元素的定义,是整个模型建立的基础,其中主要包括坐标系统与基准面2类,如图2(b)所示。

(3) Construction Geometry (构建几何)。

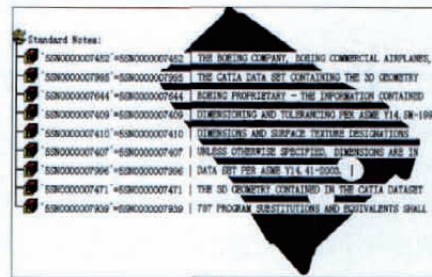
构建几何用来保存建模过程中的必需信息,即在外
部基准信息与工程几何信息的基础上构建模型所需的



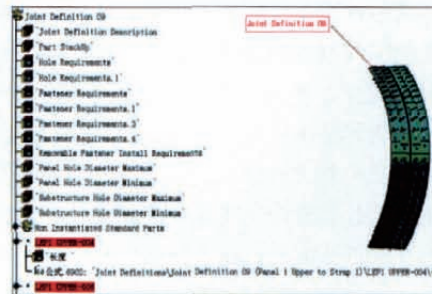
(a) 外部基准



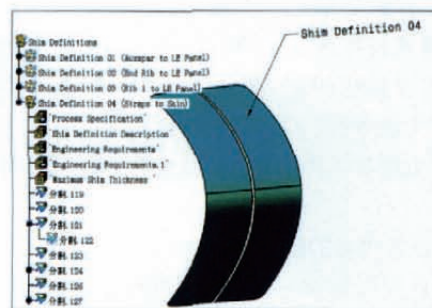
(b) 工程几何



(c) 标准说明



(d) 装配连接定义



(e) 垫片补偿定义

图2 MBD数据集内容项实例

Fig.2 Examples of MBD Dataset Items

中间几何数据。

(4) Standard Notes (标准说明)。

标准说明是对产品知识产权和有关管理信息的说明,其具体内容 by 设计公司规定。标准说明的内容有工程内容通常概述、装配说明、安装要求、版权说明、企业名称、完整性要求、尺寸公差标注遵循的标准、通用最终处理说明、尺寸单位、数据集遵循的数字化定义标准以及数据集模型尺寸比例等,如图 2 (c) 所示。

(5) Part Notes (零部件注释)。

零部件注释是用于说明整个零部件的制造工艺要求,包括如热处理、零件最终处理和零件说明等。

(6) Annotation Notes (标注说明)。

标注说明用于说明零件特定结构特征的加工工艺要求,以一个或者多个旗注表示。

(7) Joint Definitions (装配连接定义)。

在飞机制造过程中,零件必须通过铆接、焊接或者胶接的方式固定到飞机上。连接定义用于说明各种固定方式的内容或者要求,如图 2 (d) 所示。如在装配或安装件的连接几何模型定义中,就需要定义连接孔位置点、连接操作方向和孔方向等内容。

(8) Shim Definitions (垫片补偿定义)。

对结构复杂、协调准确度要求高的部位,或零件、组合件的刚度较小而且装配变形又无法预先估计的情况下,过分提高零件、组合件的制造准确度及协调准确度,在经济上是不合理的,技术上也难以达到。因此,需要在这类飞机组件或部件装配过程中采用各式补偿措施,以部分抵消零件制造和装配的误差,达到技术条件所规定的准确度要求。垫片调整补偿法就是其中的主要方法之一。为指导装配或安装过程,在装配或安装结构模型中需要定义出相关补偿位置、垫片类型及安装要求等技术说明。垫片补偿定义需定义出相关结构特征,对各种类型的补偿特征通过 FA&T 分类注解标识,如图 2 (e) 所示。Sealant Definitions (密封定义) 与之类似。

2.2 几何信息的表达

和工程图纸相比,三维模型更能让后续环节的人员明白和理解设计意图。MBD 数据集的几何信息借助于三维模型自身的直观性和 CAD 系统所具备的灵活查看功能,极大地降低了设计意图被误解的可能。三维模型是 MBD 数据集几何信息的核心载体。模型的构成如图 3 所示。

2.3 数据集内容的管理

MBD 数据集是一种全三维的产品定义方式,过去绘制在二维图纸上的内容均以三维的形式出现在数据集中,内容比图纸也更加丰富,涵盖了产品在全生命周期所需的数据或要求。在 CATIA 中,使用特征树管理

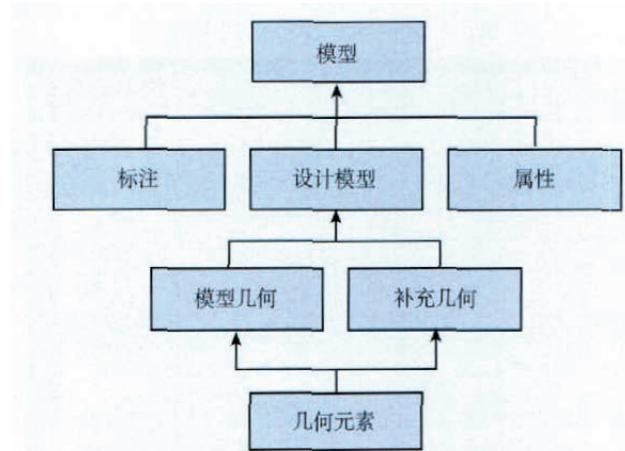


图3 模型的内容
Fig.3 Contents of a Model

数据集的所有内容。每一个内容项即作为特征树上的一个特征,而每个特征都还可以被进一步细分。特征树有着巨大的优势:用户使用 CATIA 中显示、隐藏、旋转、平移等常用功能就能方便 查询到所需的定义数据或要求;特征树也方便了定义内容与产品全生命周期管理系统(如 ENOVIA 等)的交互和集成。

其他 CAD 系统如 UG 也采用了类似的方式管理 MBD 数据集中的内容。

3 MBD 制造技术

工程制图技术产生以后,工程界形成了以二维图纸为核心的生产方式;计算机技术的发展和 CAD 技术的引进,各环节逐渐转变为图纸和三维模型并存的局面,但图纸仍是生产的核心依据。基于模型的定义,带来了生产方式的革命性变化,所有生产环节均以产品定义数据集为核心,不再使用工程图纸,完整的 MBD 数据集成为数字化业务的单一数据源,是所有业务的唯一依据。必须说明的是:MBD 不仅仅是一个或多个文件,也不仅仅是一个全三维标注的数据集,广义的 MBD 指的是一种新的、先进的和数字化紧密结合的制造技术。

在飞机制造业中,MBD 技术不但实现了全机 100% 的数字化产品定义、100% 三维数字化预装配技术、100% 数字化产品工装设计,不必再生成和维护二维工程图纸,而且它对企业管理及下游设计的活动,包括工艺规划设计、车间生产应用等都产生了重大影响,引起了数字化制造技术的重大变革,真正开启了三维数字化制造时代。图 4 说明了基于 MBD 的飞机数字化制造技术的应用框架。在该应用框架中,通过建立 MBD 的数字化协调规范和数字化定义规范,采用三维建模系统进行数字化产品定义,建立起满足协调要求的飞机全机级三维数字样机和三维工装模型,进行三维数字化预装

配。工艺人员在工艺设计规范的指导下,直接依据三维实体模型开展三维工艺开发工作,改变了以往同时依据二维工程图纸和三维实体模型来设计产品装配工艺和零件加工工艺的方式。依据数字化装配工艺流程,建立起三维数字化装配工艺模型,通过数字化虚拟装配环境对装配工艺过程进行数字化模拟仿真,在工艺工作进行的同时及飞机产品实物装配之前,进行制造工艺活动的虚拟装配验证,确认工艺操作过程准确无误后再将装配工艺授权发放,进行现场使用和实物装配。在数字化装配工艺模拟仿真过程中生成装配操作过程的三维工艺图解和多媒体动画数据,结合装配工艺流程建立起数字化装配工艺数据,为数字化装配工艺的现场应用提供依据。根据产品开发规范和数据组织规范,所有产品工程设计、工艺设计、工装设计等开发过程及其产生的工程数据、工艺数据、工装数据通过 PLM 系统可实现全生命周期管理^[2]。

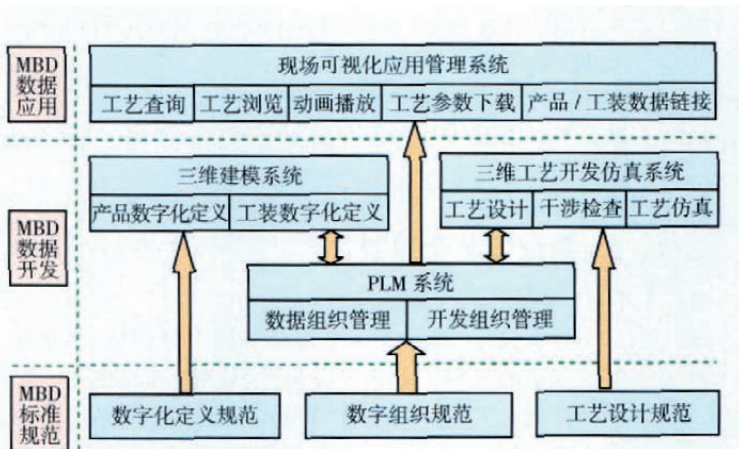


图4 基于MBD的飞机数字化制造技术应用框架
Fig.4 Application framework of MBD-based aircraft digital manufacturing technology

MBD作为一种全新的制造技术,对应用环境有着很高的要求。首先,产品定义信息完全集中或关联到三维模型、特征树,这对数据管理系统的集成、组织、管理方法和能力都是极大考验;其次,由于不再使用二维图纸,产品信息的传递、控制、理解和执行都必须借助计算机来完成,因此在MBD技术应用中需尽可能多的应用数字化设备;同时,由于航空企业的统一性和众多企业参与带来的管理的复杂性,MBD技术的推广、部署、应用不会一蹴而就,而应逐步推进。如波音公司在787项目中,首先为MBD技术体系的应用构建了新的设计体系、新的全球协同环境(Global Collaborative Environment, GCE),将产品的定义和管理纳入到一个统一的环境,同时波音公司也在各个合作供应商中逐步推进和部署

MBD技术的应用。

4 MBD的优越性

和工程图相比,MBD技术有着巨大的优越性:

(1) MBD数据集是所有生产环节的单一数据源,直接解决了工程图需保持一致性等比较繁琐、成本高等问题;

(2) 三维模型可以很好地表达曲线曲面造型,尤其在使用CATIA时;

(3) 可以使研制、生产中的各职能人员更准确、更直接地明白并理解设计意图;

(4) 实现了对新型制造和加工技术(如NC)的支持;

(5) MBD数据集集成了完整的数字化产品定义信息,大大提高了工程定义的质量,使CAD和CAM(加工、装配、测量、检验等)等实现高度的集成,即使脱离了图纸,仍可顺利地进行设计、制造、检验等;

(6) CAD系统具备的隐藏、显示、移动、旋转和缩放等功能,使得MBD定义的内容能更加简洁、有效地存取、管理和展示;

(7) 基于MBD的制造技术采用数字化研制体系,准确、高效地传递产品定义信息,后续生产环节无需技术人员阅读、输入相关信息,这就减少了产品研制全过程的人工干预频频出错的现象,也减少了纸质实物系统与计算机系统脱节而造成的重复性劳动;

(8) MBD技术体系带来的便利也极大地支持了并行工程。在数字化协同研制环境中,各职能部门的人员可以在一个未完成的产品模型上协同工作,既提高了设计效率,也提高了产品的可制造性。

5 结束语

当前,我国的主要航空企业都和波音公司展开了紧密的合作。沈阳飞机工业集团公司下属民机公司在波音787垂尾前缘转包生产中也立项逐步构建环境,初步实现了MBD技术的应用,带来了企业管理和效率质的飞跃。

综上所述,随着MBD技术的发展和应用的不断深入,MBD必将替代工程图成为工程界的新语言。

参考文献

[1] 卢鹤,韩爽,范玉青.基于模型的数字化定义技术.航空制造技术,2008(3):78-81.

[2] 周秋忠,范玉青.MBD技术在飞机制造中的应用.航空维修与工程,2008(3):55-57.

(责编 侧卫)