

# 基于模型定义技术及其实施

## Model Based Definition Technology and Its Practices

北京航空航天大学 范玉青



范玉青

教授、博士生导师,享受国务院政府特殊津贴。1963年毕业于北京航空航天大学飞机制造专业,毕业后留校任教。1981年11月~1984年2月作为访问学者在英国学习。长期从事飞机制造技术和数字化技术应用的教学和研究工作,同时培养了百余名这一领域的硕士、博士和博士后,其中10名是外国留学生。出版了《现代飞机制造技术》等书籍。

基于模型定义(Model Based Definition, MBD)技术,是将产品的所有相关设计定义、工艺描述、属性

MBD技术体系是以MBD数据集为核心的应用体系,借助标准管理系统、标准工艺管理系统、CAD系统、工艺设计和分析以及产品数据管理等系统,通过MBD数据集集成产品的设计制造信息,并建立了一套基于MBD数据集的工艺设计分析方法和数据管理办法,使工程制造能够在脱离图纸的环境下,按照设计系统给出的内容组织框架实现对产品生产和检验的监督控制。

和管理等信息都附着在产品三维模型中的先进的数字化定义方法。

### 产品定义技术的发展

自18世纪末以来,以投影法为基础的纸质二维工程图纸统治着工程研发200多年的历史。工业革命中不断增长的工程应用,提出对设计表达的各式各样的实际问题。法国几何学家加斯帕·蒙日将积累起来的在平面上绘制空间物体图像的理论 and 实践加以系统化和概括,1795年发表了《画法几何学》,成为200年

来工程图的基础。

以画法几何为基础的二维工程图表达,正是以二维准确定义三维,以平面的图纸表达空间形体乃至加工制造要求。二维工程图是当时社会的发展需要,也是与当时的科学技术和生产力水平相适应的。

计算机的出现,使产品描述的通用介质突破了“只有长、宽2种尺度的图纸”。人们逐步把三维模型引入到工程定义中,三维模型在工程定义中的地位从参考、辅助过渡到主导。随着三维建模技术的日趋成熟,

以数字化完整准确定义三维产品成为可能。基于模型的数字化定义技术(MBD)是具有3D模型主要元素的完整产品定义,它不再使用或依赖于二维图样或正投影视图为主要制造依据,是数字化定义的最新阶段。MBD技术由于其无可比拟的直观性和与其他计算机辅助技术的集成,渐渐成为新的工程定义的标准,最终必然得到推广并取代二维图纸文化。

新技术的应用常常会带来大量的问题。MBD技术也是一样。首先要研究原来的二维表达方法,转到MBD方式定义时要做哪些改变。这样才能促使着人们不断地去发展、完善、充实MBD的表达形式、内容和方法。这个发展的进程中总会有一些新矛盾产生,在解决矛盾的过程中,人们对MBD技术的认识由浅入深,由零散发展到系统。

### 基于模型定义规范 ASMEY 14.41-2003

由于在通常的CAD系统中,工程技术人员所建立的产品数字化模型仅是三维几何模型,而制造工艺信息还在二维图纸上。这样仅依据三维几何模型往往难以进行产品的生产和检验。也就是说,三维模型中没有让技术人员以立刻明白的方式,将生产工艺、模具设计与生产、部件装配、部件与产品检验等工序所必须的设计意图添加进来。三维模型虽然包含了二维图纸所不具备的详细几何形状信息,但三维模型中却不包括尺寸和公差的标注、表面粗糙度、表面处理方法、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、颜色、要求符合的规格与标准等仅靠几何形状而无法表达的(非几何)信息。另外在三维建模中,基于形状的注释提示、关键部位的放大图和剖面图等能够更为灵活而合理地传达设计意图的手段也存在不足。这在实际工程中就产生既

用三维模型,又离不开二维图纸的矛盾状态。从数据管理看,这样的数据源的二元性,难以保持数据的一致性。基于这些所面临的严重问题,美国机械工程师协会于1997年在波音公司的协助下开始进行有关MBD标准的研究和制定工作,于2003年成为美国国家标准“Y14.41 DIGITAL PRODUCT DEFINITION DATA PRACTICES”(数字化产品定义数据的实施)。

在此过程中其主导思想不能只是简单地将二维图纸的信息反映到三维数据中,而要充分利用三维模型所具备的表现力,去探索便于用户理解且更具效率的设计信息表达方式。其中最为艰难的是“要从二维图纸文化这种现有概念中跳出来,从零开

分散在三维模型与二维工程图中的所有设计与制造信息。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、材料需求及其他相关定义数据。装配件的数据集包括装配状态的实体几何模型、尺寸、公差和标注、工程说明、零件表或相关数据、关联的几何文件和材料要求。其中,工程说明由标准注释、零件注释、标注说明(特殊特征工程需求有关的说明)组成,其基本内容见图1,进行完全定义所需相关数据可以通过相关性关联集成在产品定义数据集中;没有集成的数据可以单独修订<sup>[1]</sup>。

图1所示相关数据由分析数据、零部件表、试验要求、材料规范、工艺过程和最终要求等组成,但不限于这

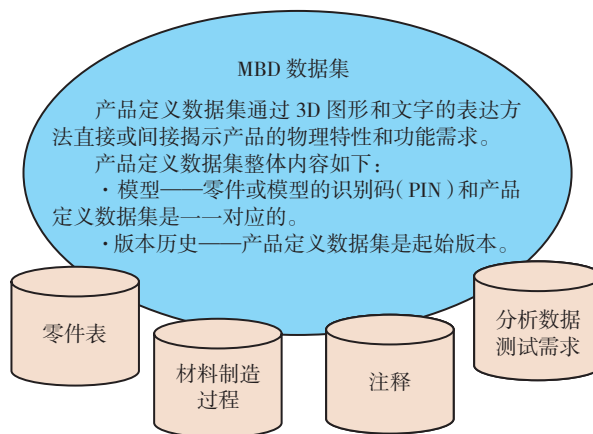


图1 MBD数据集的内容

始研究新的信息表达方式”。为此,首先应针对概念设计、初步设计、详细设计、生产准备、评估与检验等每个阶段,弄清楚“哪些是产品制造中所必须的信息”,哪些是囿于二维图纸时代技术条件,而在当前情况下并非必须或者可以根本改变形式的信息。美国国家标准“Y14.41”基本上回答这些问题。

MBD数据集提供完整的产品信息,集成了以前

些数据。相关数据将在数据集中引用。图2所示是MBD数据集中模型的内容,其中设计模型就是产品的具

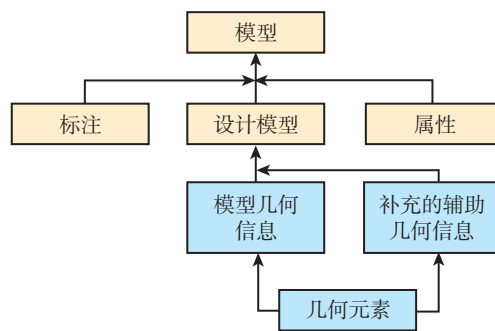


图2 模型的内容

有尺寸标注的 3D 实体模型。

这一标准支持 2 种应用方法: 仅使用 3D 模型, 3D 模型和数字化格式的图样( 2D Drawing ) 结合使用。

### 基于模型定义 MBD 的应用规范

波音公司在此标准基础上, 做了进一步研发工作, 根据公司具体实践制定了 BDS600 技术应用规范系列标准, 并在 2004 年开始的 787 客机设计中, 全面采用 MBD 新技术。将三维产品制造信息 PMD ( 3D Product Manufacturing Information ) 与三维设计信息共同定义到产品的三维数字化模型中, 使 CAD 和 CAM ( 加工、装配、测量、检验 ) 等实现真正的高度集成, 可不再使用二维图纸。2006 年 ISO 颁布了 ISO16792, 规定了全面的 3D 模型标注规范, 数字化技术的应用有了新的跨越式发展。

波音公司的基于模型定义 MBD BDS-600 系列<sup>[2]</sup> ( 实际上还有很多项与 MBD 相关的规范 ), 如下列所示。

- ( 1 ) BDS-600 基于模型的定义——数据集的一般要求;
- ( 2 ) BDS-601 基于模型的定义——数据集和模型的识别;
- ( 3 ) BDS-602 基于模型的定义——数据集修订版本;

义——数据集修订版本;

- ( 4 ) BDS-610 基于模型的定义——缩略语、简称和定义;
- ( 5 ) BDS-622 基于模型的定义——CATIA V5 ;
- ( 6 ) BDS-624 基于模型的定义——EDS ( UG );
- ( 7 ) BDS-640 基于模型的定义——机加零件;

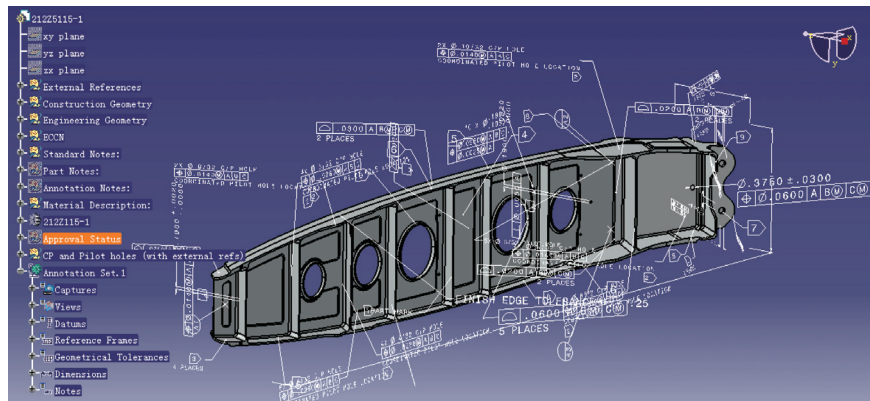


图3 机加零件的MBD ( 图中标明特征树 )

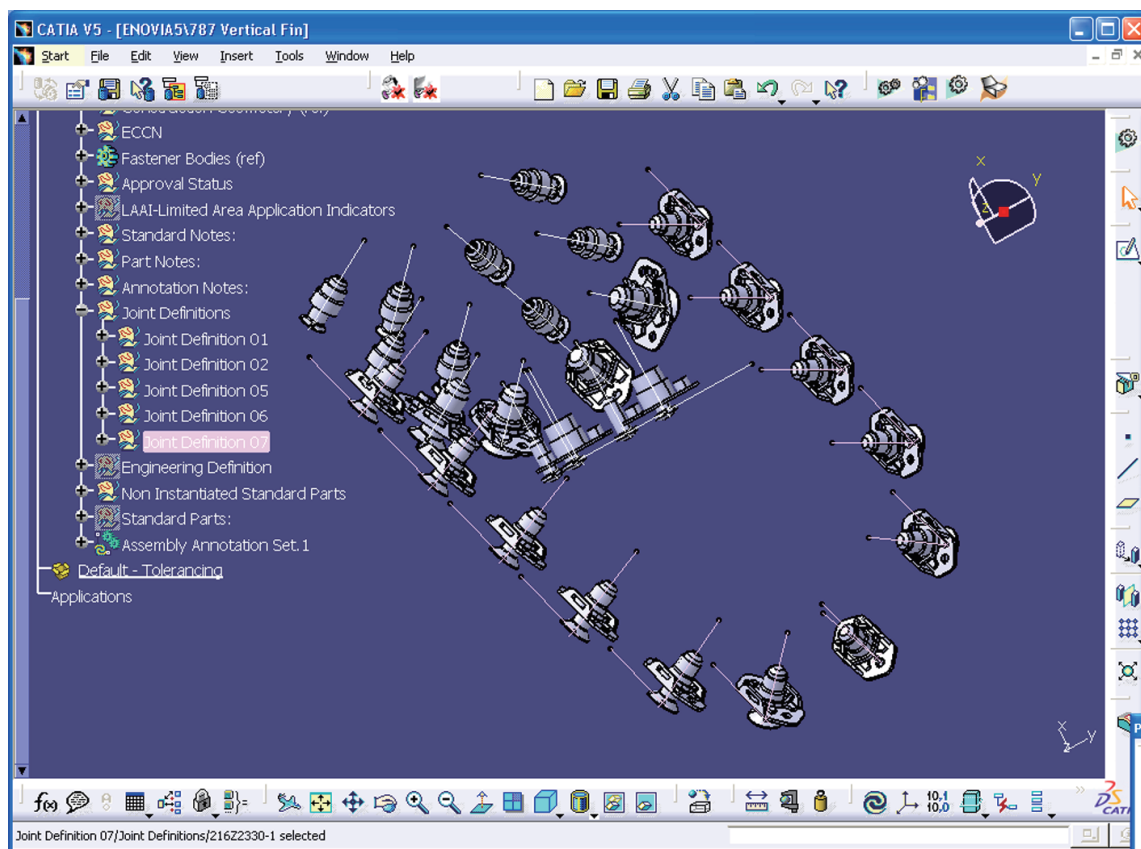


图4 连接件的MBD

(8) BDS-641 基于模型的定义——金属板料零件;

(9) BDS-642 基于模型的定义——铸件和锻件;

(10) BDS-644 基于模型的定义——夹层复材结构件;

(11) BDS-647 基于模型的定义——管路弯曲数据集;

(12) BDS-651 基于模型的定义——零件的另一种表示方法;

(13) BDS-660 基于模型的定义——装配件;

(14) BDS-662 基于模型的定义——导线束装配/连接线和电缆装配;

(15) BDS-680 基于模型的定义——标准零件的建模要求。

波音公司充分利用基于模型定义规范 ASMEY14.41-2003, 这些定义规范都体现在波音制定的 MBD 技术应用规范 BDS-600 系列中, 并且在研制 787 客机中得以很好的贯彻, 已取得了十分明显的进展, 而且也得到国际上的广泛认同。图 3~图 5 分别表示了机加零件、连接件和装配件的基于模型的定义 MBD。值得注意的是, 在这些图中左边的规范树中, 包含了大量的有关产品的设计规范和工艺等非几何信息。这些完全由三维描述的几何信息及其规范树中所包含的非几何信息所组成的产品数据集, 其中不但有完整的产品设计信息, 而且具有产品制造、装配、检验以及有效性等相关信息, 充分体现了产品的并行协同设计理念和单一产品数据源的思想。

### MBD 数据的组织和管理

在 MBD 数据中有 2 类数据: 一类数据是几何信息, 也就是产品的设计模型; 另一类是非几何信息, 它存放于规范树中, 如图 6 所示。产品的设计模型有着十分复杂的拓扑模型, 即在每一个 CAD 系统中, 产品的每一个顶点、线段、面和体及其标注的

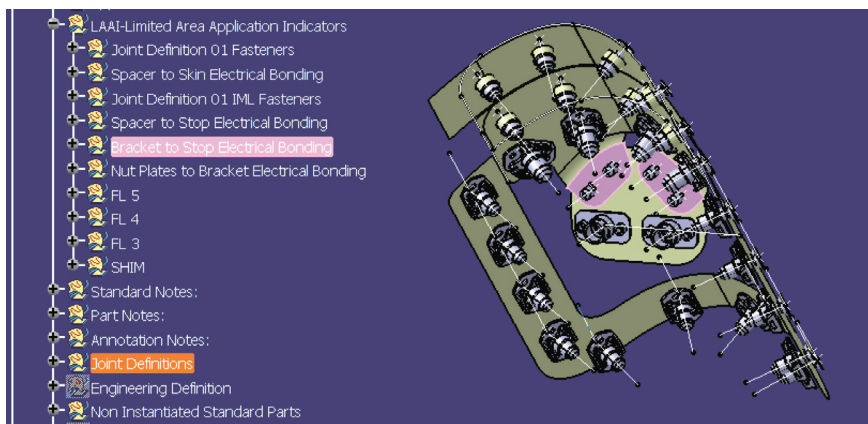


图5 装配件的MBD

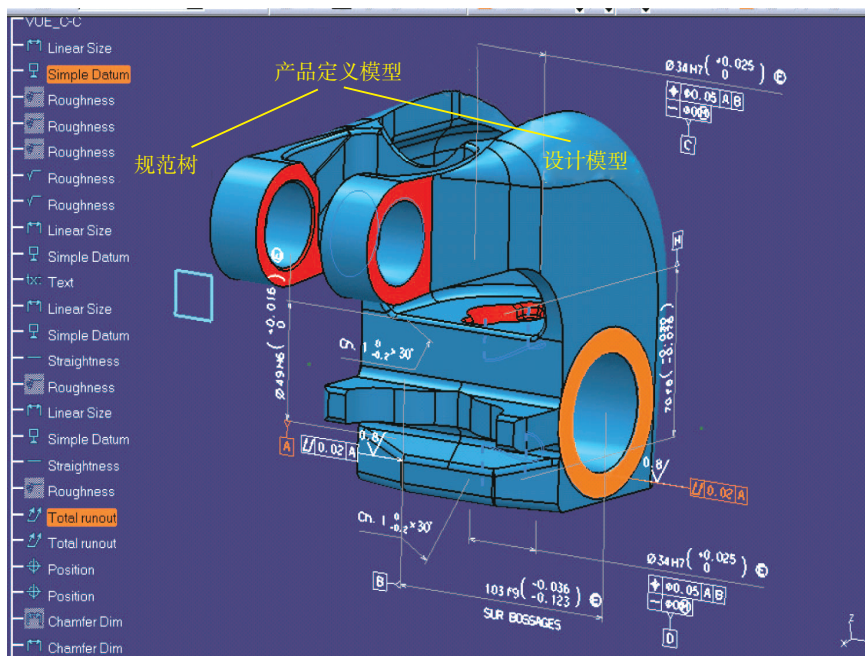


图6 产品定义模型

关系存贮于复杂的数据结构中。每一种 CAD 系统的内部数据结构都是不开放的, 由 CAD 系统内部管理。而且 MBD 模型中的绝大部分标注特征信息都不是单独存在的, 而是与几何模型特征有关, 依附于几何模型特征并形成关联关系。因此, MBD 模型在使用过程中要体现这种关联性, 满足用户的多功能查询要求, 即通过几何模型特征能查询到相关联的标注特征信息, 而通过标注特征信息能提示它所表示的几何模型特征。另外, 非几何信息和特征具有关联性,

当点击几何元素时相关联的元素都会高亮显示; 非几何信息存放在规范树中, 这些非几何信息包括各种标注信息, 如标准注释、零部件注释、标注说明、还有各类连接定义等, 这些非几何信息由与 CAD 系统相配套的 PDM 软件负责存贮和管理, 使 CAD 中的产品几何数据与非几何信息实现高度集成。

规范树中的内容如下:

- 零部件名称及编号;
- xy plane Required——CATIA Default 默认信息;

- yz plane Required——CATIA Default 默认信息;
- zx plane Required——CATIA Default 默认信息;
- PARTBody Required for detail parts 零部件几何体;
- Axis Systems Optional 坐标系(可选);
- Parameters Optional (Ref) 参数(可选参数);
- Relations Optional——when formulas are used (Ref) 关系(可选);
- External References Optional——Required for relational design (Ref) 外部基准(可选);
- External Parameters Optional——Required for relational design (Ref) 外部参数;
- Construction Geometry Recommended (Ref) 结构几何(推荐的信息);
- Miscellaneous Geometry Optional (Ref) 其他几何信息(可选);
- Standard Notes Required 标准注释(必须的);
- Part Notes Required 零部件注释(必须的);
- Annotation Notes Required 标注说明(必须的);
- Joint Definitions Required for ARM 装配要求模型的连接定义;
- Reference Geometry ARM/CARM/IRM 模型(可选);
- Annotation Set Optional 标注集(可选);

- Datum Targets Optional 基准面对象集(可选);
- Publication Optional 发布数据区(可选)。

应特别注意的是,规范树中有外部引用(External References)和数据发布(Publication)项,它们使产品设计数据相关联起来,便于进行产品项之间或产品与工装之间的相关性设计。

### MBD 的系统集成环境

从飞机的整个研制过程来看,即从顾客提出对飞机的用户要求开始,直至飞机设计、制造、交付出厂以及投入航线后的服务工作,飞机的研制过程是一个全球性的庞大的系统工程。因此,必须有基于能覆盖全球的、完整的数字化网络信息系统,才能研制出现代的大型飞机,无论是波音还是空客公司,都无一例外。以下是这样的数字化网络信息系统:

- 波音公司现有有机种的 DCAC/ MRM (Define and Control Airplane Configuration/Manufacturing Resource Management) 飞机构型定义及控制/制造源管理系统,如图 7 (a) 所示,1995 年~2004 年间实施,共花费 10 亿美元;
- 波音 787 的 GCE (Global Collaborative Environment) 全球协同设计环境(2004 年~现今),如图 7 (b) 所示。

波音公司在全球协同环境 GCE 中使用 DOORS IGE-XAO、

CATIA V5、DELMIA V5、ENOVIA 和 Teamcenter 等不同软件作为产品建模和数据管理的工具,使用 ENOVIA (包括 SmartTeam、LCA、IPD) 系统作为在不同研发阶段的产品数据管理软件,并用来构建逻辑相关的单一产品数据源(Logical Single Source of Product Data, LSSPD),将 Teamcenter 作为全生命周期的产品数据管理工具,如图 8 所示<sup>[3]</sup>。MBD 技术就在这一集成环境中运行。

波音公司综合利用 ENOVIA (SmarTeam、LCA 和 IPD) 功能,构建了 787 飞机的逻辑的单一产品数据源(LSSPD)。LSSPD 使波音 787 飞机不仅具有完整的几何数字样机,而且具有性能样机、制造样机和维护样机,便于波音公司与分布在全球的合作者能顺利地进行产品各项功能的协同研制工作。

### MBD 的技术体系

MBD 技术体系是以 MBD 数据集为核心的应用体系,借助标准管理系统、标准工艺管理系统、CAD 系统、工艺设计和分析以及产品数据管理等系统,通过 MBD 数据集集成产品的设计制造信息,并建立了一套基于 MBD 数据集的工艺设计分析方法和数据管理办法,使工程制造能够在脱离图纸的环境下,按照设计系统给出的内容组织框架实现对产品生产和检验的监督控制,如图 9 所示。

MBD 技术体系是以 MBD 的技术程序文件体系以及 GCE 平台为基础的。其中 MBD 技术程序体系规范了数据的操作要求,而 GCE 平台则借助 iPSM (integrated Product Standards Management)、MVA (Multi Value Attribute) 等系统和接口实现了工艺工程人员在设计过程中与设计人员的数据共享。MBD 技术体系的另一个特点体现在对数字化设备的集成应用中,通过 GCE 平台到生产现场的管理系统,基于 MBD 的产

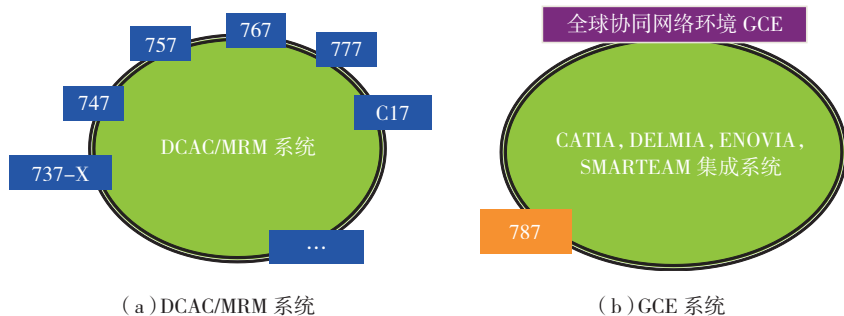


图7 波音公司的DCAC/MRM系统和GCE系统

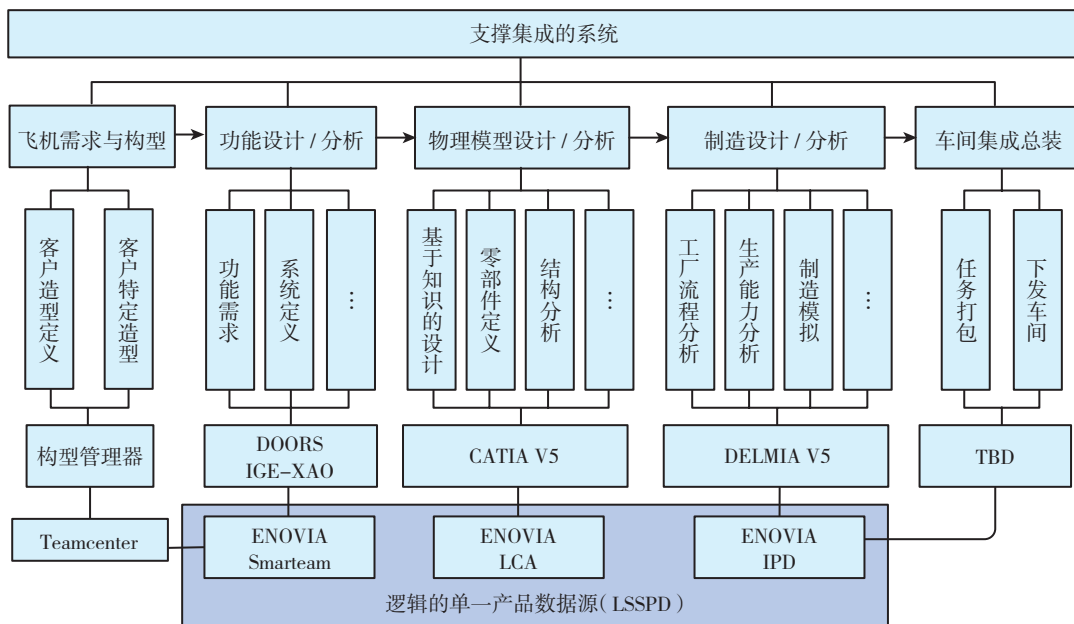


图8 波音全球协同环境GCE的系统框架

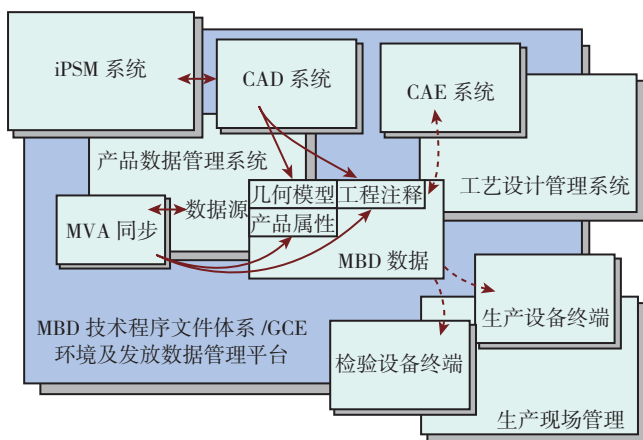


图9 MBD技术体系的应用关系

品信息可以最终传递到生产和检验的设备中。

iPSM系统是集成产品标准管理系统,这一系统管理着所有的设计、工艺、制造和检验的标准,所有这些标准的工作方法、指令、要求都被统一编码并由计算机管理和发布,任何授权的供应商能够检索到相关的标准,这就保证了所有供应商执行统一的标准从而达到统一的质量要求。此外,在MBD技术的改进中,波音公司基于CATIA开发了iPSM系统到CATIA的接口,使得设计人员在CATIA相关的参数定义窗口可以直

接打开iPSM系统并按照一定的约束条件选择相应的标准,并将该标准内容填写到MBD数据集的特征树中。因此,波音公司在推动MBD技术应用时,定制了大量的系统。

## 结束语

现代飞机产品制造过程的实质,是对一个产品进行并行协同的数字化建模、模拟仿真和产品定义,然后对产品的定义数据从设计的上游向零件制造、部件装配、产品总装和测量检验的下游进行传递、拓延和加工处理的过程。最终形成的飞机产品可以被看作

是数据的物质表现。由此可知,产品的定义数据能在整个制造过程下游的各个环节有效地利用起来,即用产品定义数据直接来驱动所有的数字化加工和测量设备,直至飞机的装配。也正如洛克希德·马丁公司所指出的那样,数字化主线驱动着JSF任务的关键工程和检验技术,真正发挥了数字化技术的优点,这也正好克服了传统飞机制造技术的缺点。

MBD是飞机数字化研制的核心技术,这次MBD技术的引入将充分发挥数字化新技术在飞机研制中的作用,使我国数字化技术在新机研制或飞机生产中应用的深度和广度得到大幅度扩展,将进一步提高并行协同的程度和系统集成水平。

## 参考文献

- [1] American Society of Mechanical Engineers. ASME Y14.41-2003 Digital Product Definition Data Practices. New York: American Society of Mechanical Engineers, 2003.
- [2] 美国波音商用飞机公司. BDS-600系列标准. 芝加哥: 美国波音商用飞机, 2006.
- [3] 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.

(责编 夏宛)