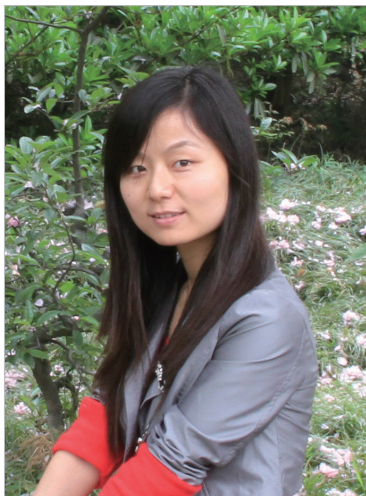


# MBD 技术在大飞机研制中的应用

## Application of MBD Technology in Large Aircraft Developing

中航工业第一飞机设计研究院 李婷婷 刘俊堂 张永辉



李婷婷

毕业于西北工业大学,主要从事 CAD、PDM 技术研究和应用。

MBD (Model Based Define,即基于模型的定义)是指用三维模型完整表达面向制造的产品定义信息,同时也包括制造和检验信息等,使三维模型成为产品生命周期设计、制造、维护等阶段的唯一信息载体。MBD 技术使得三维模型作为设计、生产、制造过程中的唯一依据,变革了以二维工程图纸或者以二维工程图纸为主、三维实体模型为辅的传统飞机研制方法。基于 MBD 技术的飞机设计有时也被称之为全三维设计方法 (Full 3D Design)。

MBD 技术及实施最早由波音公司提出,于 2003 年被美国 ASME

大飞机研制 MBD 技术应用实践表明,MBD 技术不仅仅是信息表达方式的改变,更是由于这种改变引起的飞机研制模式的改变。同时,由于三维设计更符合人类的原始创新方式及更进一步的设计信息数学描述等,采用 MBD 技术还可以研制出更多的设计效能工具,如从基本的设计模板、左右件自动生成到保证上下游设计信息唯一且一致的关联设计等。

批准为机械产品工程模型的定义标准,即 ASME Y14.41<sup>[1]</sup>;2006 年 ISO 组织借鉴 ASME Y14.41 标准制定了 ISO1672 标准。

随着三维设计技术在我国飞机型号研制中的深入应用,仅仅用三维设计技术进行样机设计、虚拟协调设计等已经不能满足工程研制的需求,特别是二维和三维的共存,给设计制造带来了许多负面影响,典型的就是设计人员的重复劳动,设计信息的不唯一且无法完全发挥三维设计的优势等。所以从 21 世纪初期,国内无论是学术界还是工程界,都在进行 MBD 技术的研究和应用。到 2007 年,大飞机研制对新技术的迫切需求推动了 MBD 技术全面体系化和工程化应用,打破了国际垄断,建立了我国基于 MBD 技术的全三维飞机研制技术体系。

大飞机研制 MBD 技术应用实践

表明,MBD 技术不仅仅是信息表达方式的改变,更是由于这种改变引起的飞机研制模式的改变。同时,由于三维设计更符合人类的原始创新方式及更进一步的设计信息数学描述等,采用 MBD 技术还可以研制出更多的设计效能工具,如从基本的设计模板、左右件自动生成到保证上下游设计信息唯一且一致的关联设计等。下面简要介绍大飞机研制 MBD 技术应用的关键技术点,以供参考。

### 基于 MBD 技术的模型定义

MBD 技术最基本的应用就是通过三维模型定义产品的几何模型、零件坐标系统、尺寸、公差和标注、工程说明、材料需求等。而对于装配的描述,同样需要三维模型来表达。MBD 模型的一般信息包括几何信息、三维标注信息、MBD 模型所代表的零件的属性信息等。其中,MBD 模型的

三维标注信息包含了产品的尺寸和公差标注、工艺制造要求等;属性信息包含了模型创建相关信息(比如创建日期、创建者、版权等)、零组件实体相关信息(比如材料等)、更改相关信息(比如更改说明、设计依据等)。

由于制造加工方式的不同,需要采用不同的建模方法进行零组部件 MBD 模型的设计。同时,不同类型的模型需要标注的信息及详细程度也不尽相同。下面按照加工制造方式不同,分别对大飞机的机加、钣金、复合材料、管路、电气相关零件及装配的 MBD 模型进行简要介绍。

金零件设计需要把 K 因子等钣金设计参数根据材料和加工经验积累的知识固化在钣金设计模块中,使得后期制造工艺设计更加快捷与高效。因此,钣金零件的尺寸和公差标注信息等几乎可以省略,如图 2 所示。

### 3 复合材料 MBD 模型定义

复合材料零件设计需要使用专用的复合材料设计模块和工具。用全三维方式进行复合材料零件设计,可以大大减轻设计人员的工作量。相对二维设计方式,三维模型下的铺层和材料定义更加快捷,而且能够自动导出铺层信息等,用于后续复合

寸、长度、通路的测量等(包括管径大小、弯曲半径、弯曲角度测量等),计算管路长度,按照经验编制导管的加工工艺过程,进行试装配和修型等。实践证明,结构和系统设计串行是造成飞机研制周期加长的瓶颈,是控制研制周期长短的关键因素之一,同时,手工取样方式难以保证导管的制造装配质量,造成设计制造的反复。

管路系统的 MBD 设计是基于达索的 CATIA V5 和 VPM V5,通过定制开发构建管路系统数字化设计支持系统环境,支持管路零组件全三维设计和管路系统全三维设计等。管

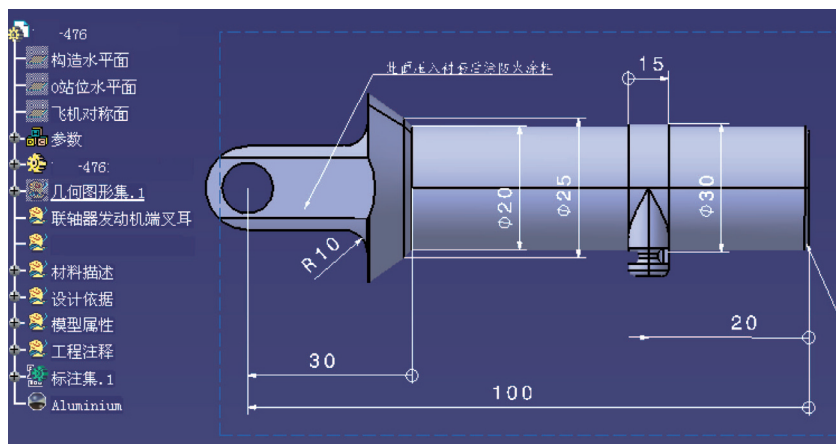


图1 MBD模型样例

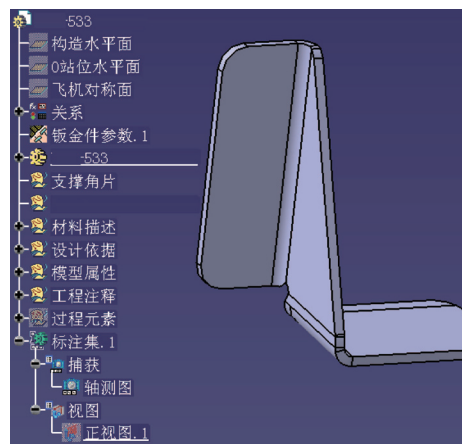


图2 钣金零件MBD模型样例

### 1 机加零件 MBD 模型定义

机加零件除了使用数控加工外,还存在大量的普通机床加工方式。为了方便普通机床加工工艺文件的编制和工人的阅读,机加零件 MBD 模型的尺寸公差信息标注得比较详细,但由于从三维模型能准确测量出实际零件的尺寸,所以也必须遵守最少尺寸标注原则。机加零件的 MBD 模型样例见图 1。

### 2 钣金零件 MBD 模型定义

用 MBD 模型表达设计意图,不仅为后续飞机零部件的数字化制造奠定了基础,而且还可以简化标注信息,减轻设计人员的工作量。航空钣金零件的设计,要使用专用的钣金零件设计模块和工具,以实现后续制造工艺设计环节毛料的自动展开。钣

材料零件的数控加工。图 3 为大飞机某复合材料零件的 MBD 模型样例,在样例中可以看出铺层方向的标注方式、层的厚度及层的编号标注方式等。

### 4 管路件 MBD 模型定义

管路零件的设计,更准确地说应该是管路系统的设计,完全颠覆了传统的管路系统设计模式。传统的基于物理样机的飞机设计结构完成设计后,需要通过取样方式,手工完成系统对管路的尺

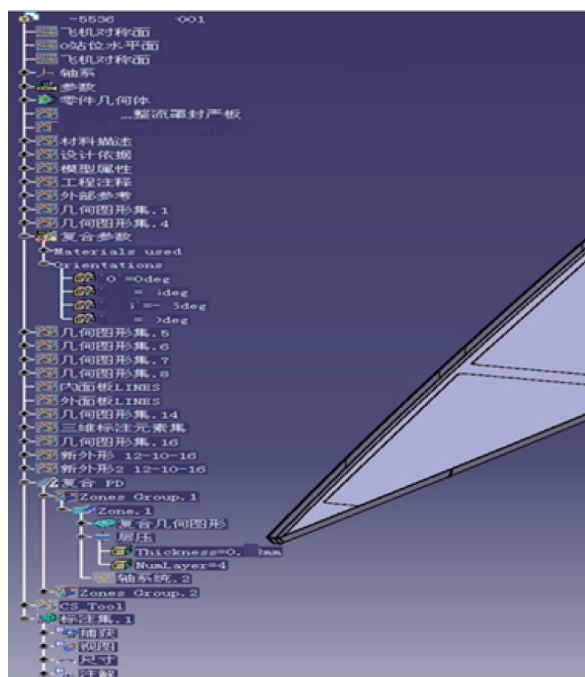


图3 复合材料零件MBD模型样例

路系统的设计实现了“所见即所得”和基于样机环境的协调与制造设计。

为了方便下游制造,通过系统直接导出管路系统重要制造单元导管组件的制造信息(包括导管编号、弯曲半径、材料、重量、理论长度、标准件等),连同设计模型一起发送给制造厂,制造厂通过程序接口可直接生成数控机床弯管指令,制造出符合质量要求的导管零件,打通了管路系统全数字化设计制造生产线。

导管组件信息从设计人员手工提取统计,转变为系统自动完成,把设计人员从繁重的劳动中解放出来。

## 5 电气系统 MBD 模型定义

电气系统 MBD 模型定义,包含电气系统原理设计、线束设计、线束安装设计等,是一套完整的电气系统设计体系。电气系统全三维设计改变了传统的电气系统设计方式。传统的基于二维思想的电气系统设计的一般流程是:先颁发各种设计规则、制图规范和管理规定,再通过二维设计软件设计原理打样图、接线打样图、半安装图、盘箱接线图、线束图和各种报表,然后通过三维软件设计三维电气安装图纸和三维明细表。2种软件之间没有直接的联系,半安装图和三维电气安装图之间也是设计人员根据工程经验使二者进行间接的联系,造成相互脱节,不能进行电气仿真验证、检查等,容易产生漏改,校正也变得非常困难,给后期完善设计工作造成很多不必要的麻烦。

大飞机电气系统设计采用全数字化方式,其基本流程为:首先根据研制的相关要求、规划和论证确定设计方案,然后根据设计方案使用 CHS 软件把器件、系统之间的逻辑关联起来,绘制出原理图,并利用相应工具把原理图自动转换成接线图;使用 CHS 相关功能对整个图纸进行严格的设计检查,并对设计图进行仿真、FMEA 分析等。其次,在电气系统原理设计完成后,通过专用接口导入到

CATIA 中进行线束的安装设计,利用 CATIA 软件的电气系统模块从电气系统三维库中选取带电气属性的模型,并对器件之间进行电气连接,计算导线长度,实现线缆的路径敷设和展平等。大飞机电气系统全数字化设计流程可用图 4 表示。图 5 为大飞机电气系统线束敷设 MBD 模型样例。

## 6 装配件 MBD 模型定义

在全三维设计模式下,MBD 模型不仅仅包含零件模型,还包括零组件的装配模型。用模型表示零组件的装配信息,相比二维图样来说,更容易理解,并可自动抽取 EBOM 或 MBOM 信息。对于后期制造,装配工人借助移动可视设备能很快获得装配材料信息、装配连接零件的位置和

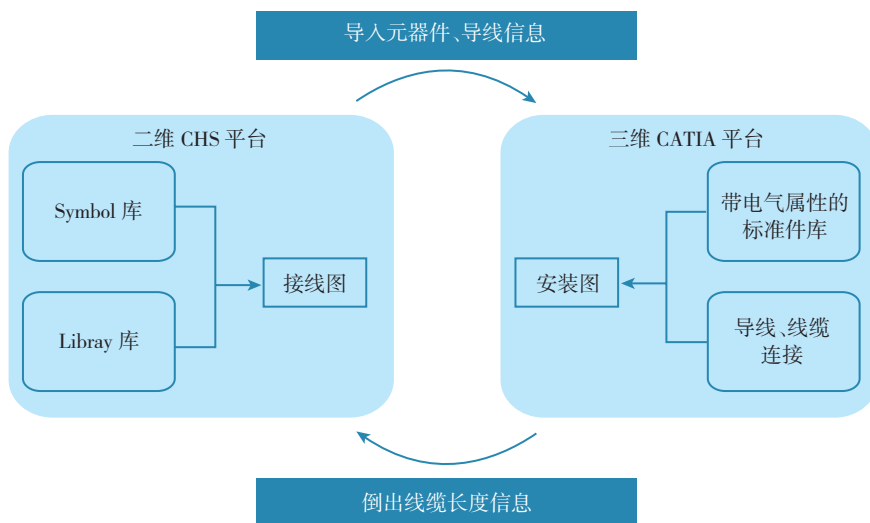


图4 电气系统全数字化设计流程

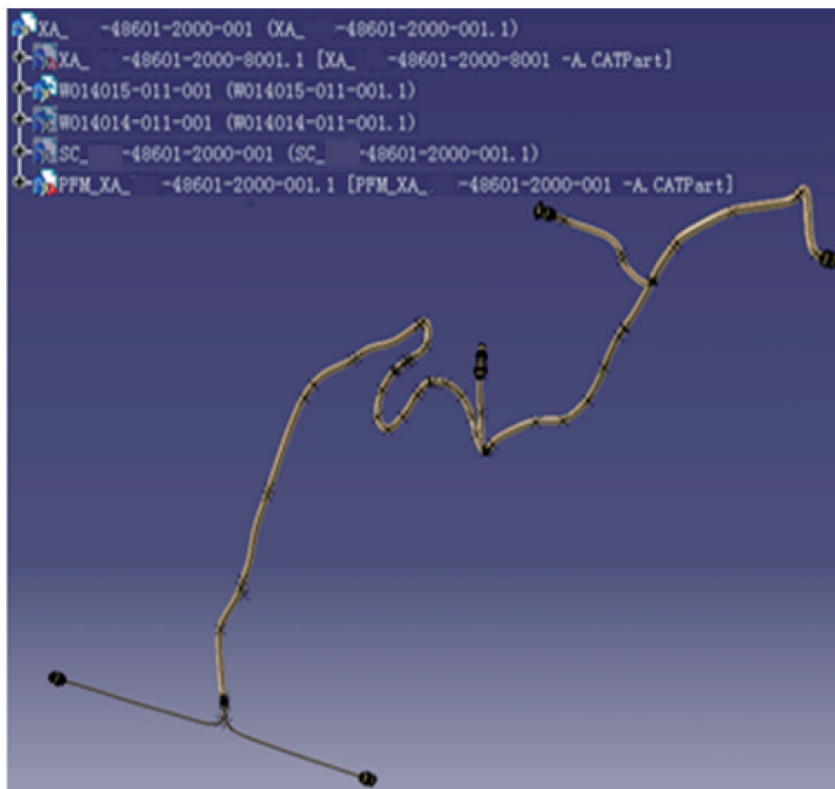


图5 电气系统线束敷设 MBD 模型样例

定位信息等。

大飞机的装配模型被特殊定义为尾部编号带有 8001 的 PART 模型 (PART 在三维设计中代表一个含有几何要素的模型),有些也称为 A 模型。在 8001 模型中主要进行连接定义,包括连接对象,如图 6 中的口框的连接、框与长桁的连接等。连接信息还包括排布线、中心点、连接件(铆钉或螺栓等)的规格和数量(自动计算得到)等。总之,与装配有关的信息都可以在 8001 模型中表达,以满足下游工艺设计和制造要求。

需要说明的是,8001 模型的建立,不是所有的信息都需要设计者给出,如装配相关的几何元素会自动抽取,连接点的排布只要给出约束条件就会通过工具自动生成,连接件的数量会自动计算等。

### MBD 设计资源及其效能工具

采用 MBD 技术进行飞机研制,必须建立一套完整的技术体系和 IT 平台系统。为了提升设计效率,保证设计质量,必须建立支持全三维设计的 MBD 设计资源库及设计效能工具等。

常用的设计资源库包括标准件库(含结构设计标准件库、管路系统

设计标准件库、电气系统设计标准件库等)、系统设计资源库(包括管路系统设计资源库、电气系统设计资源库)、材料库、设计标准库、设计知识库、特征库等。图 7 为大飞机管路系统设计资源库样例。

设计效能工具是按照工程设计需求固化设计过程,通过二次开发形成能够大幅提高设计效率的工具。具体讲,就是各类标准化对象在系统中自动完成标准化过程,通过对设计中贯彻的标准(MBD 设计标准、钣

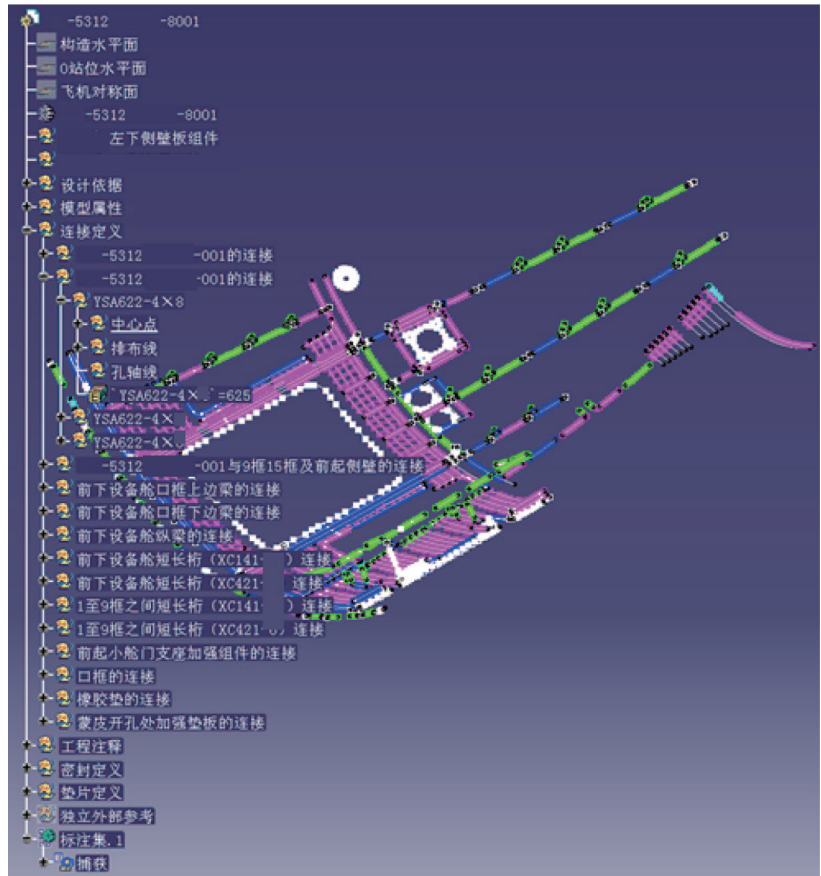


图6 装配MBD模型样例

设计资源	解释	文件名称	文件类型		
系统资源管	TUB. xml	FAI TUBING. CATfc	文件名		
数据字典		FAI	FAIMM-BendingRules.txt	FAI SORMM-TurnRules.txt	设计规范
设计规则		FAI	FAIMM-LengthRules.txt	FAI SORMM-BranchingRules.txt	管路弯曲规则
设计标准		FAI	FAIMM-TubeDimensions.txt	FAI SORMM-FunctionPhysical-Tube.txt	管路分支规则
管路LineI		FAI	FAIMM-DimensionCode.txt	FAI SORMM-FunctionPhysical-Branch.txt	管路Tube件功能物理映射
规范文件		FAI	FAIMM-EndStyle.txt	FAI SORMM-FunctionPhysical-Branch.txt	管路Branch件功能物理映射
标准件库主		FAI	FAIMM-MaterialCategory.txt	定义管路标准件端口类型	
		FAI	FAIMM-MaterialCode.txt	文件名	设计规则
		FAI	FAIMM-NominalSize.txt	Tubing-Compatibility.txt	定义两个零件之间的配合关系
		FAI	FAIMM-PartName.txt	Tubing-FunctionPhysical.txt	定义零件的功能分类与物理名称之间的对应关系
		FAI	FAIMM-PartCode.txt	Tubing-AutomaticParts.txt	定义零件自动放置关系
		Mas	FAIMM-Schedule.txt	Tubing-AttributeFilter.txt	定义零件属性过滤值
			FAIMM-WallThickness.txt		
			FAIMM-Rating.txt		

图7 管路系统设计资源库样例

金零件设计标准及标准件设计标准等)进行分析、提炼、整理,并固化到MBD应用系统环境中。

图8给出了大飞机部分MBD效能工具。大飞机MBD效能包包含了以下9个方面的内容,目前还在继续扩充开发中:

- (1) MBD设计模板;
- (2) MBD规范化检查与修改模块;
- (3) 管路报表自动生成模块;
- (4) 基于特征的航空钣金零件快速生成模块;
- (5) 航空典型零件快速生成模块;
- (6) 零件设计参数库模块;
- (7) 机翼设计综合数据库系统模块;
- (8) 左右件自动生成模块;
- (9) 属性映射模块。

关联设计技术是在三维设计过程中,通过参数化设计技术建立模型之间的相互依赖关系,从而实现飞机研制中上下游专业设计输入与设计输出之间的影响、控制和约束关系<sup>[2]</sup>。关联设计保证了上下游设计数据的一致性,实现了设计更改的自动传递和自动更新。

在飞机研制中,基于MBD技术的关联设计技术的应用体现在3个方面:结构与外形的关联设计、系统与结构的关联设计、结构内部的关联设计,从而解决了系统针对结构的安装协调问题,通过骨架模型也解决了系统参考结构设计的性能问题等。

### MBD 标准规范体系

MBD技术的应用离不开全三维设计技术应用标准规范。为推进

法、附加标准依据信息技术方法、采用零件模型进行三维装配模型的标注技术等,并通过样例零件的分析消化及与制造部门的协调,初步确定了基于MBD的数字化设计技术方案,编写了工程图样编码与成套性管理规定、工程设计更改与版次规定、工程产品数据审签与发放规定、工程产品数据属性定义、工程产品数据EBOM编制要求、工程产品数字模型成熟度定义要求、工程三维制图标注规定、工程系统三维标注规定、工程产品数据发放管理规定、关联设计相关规定等标准文件20余份,形成了较为全面的大飞机MBD技术应用标准规范体系。

### MBD 技术应用展望

从MBD技术在飞机研制中的应用形势来看,它改变了数百年来设计意图表达方法,回归人类设计制造创新的原本途径,即实体思维设计物质实体,完全替代仅仅由于设计对象的复杂化不得不用二维图纸记录设计意图的方法。不仅如此,基于MBD的全三维设计技术将重构产品研发模型,特别是产品制造端,无论从管理还是生产等方面都会带来巨大变化。全三维研制还可以把客户带到产品研发的前沿,使得设计、制造、使用较早融为一体,从而开发出用户满意度高的产品。今后,要借助MBD技术实现飞机产品设计、工艺设计、工装设计及多BOM的融合设计还有一段艰难的路要走。MBD技术应用除需要完善细化外,还需要挖掘巨大的潜能。

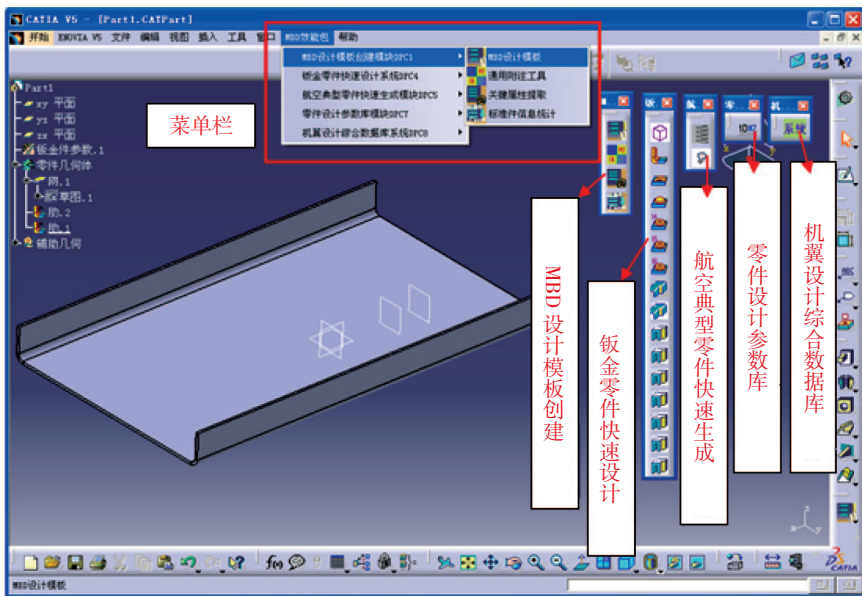


图8 MBD效能工具

### 基于 MBD 技术的关联设计

除效能工具外,采用全三维设计技术后,还可以对飞机设计方法进行创新和提升。关联设计就是控制上下游设计信息传递,保证设计结果一致性的重要技术突破。

MBD技术的应用,在大飞机研制初期就成立了由总体、结构、系统、信息和标准部门组成的MBD技术应用攻关团队,通过研究在三维模型上进行尺寸和公差标注技术方法、剖视图生成技术方法、加工要求标注技术方法、特征视图捕获创建与管理技术方

### 参考文献

[1] ASME Y 14.41-2003[EB/OL].2003 (2012-05)[2014-03-15]. [http://en.wikipedia.org/wiki/ASME\\_Y14.41-2003](http://en.wikipedia.org/wiki/ASME_Y14.41-2003).

[2] 刘俊堂,刘看旺. 关联设计技术在飞机研制中的应用. 航空制造技术,2008,14 :45-47.

(责编 谷雨)