

基于 MBD 的飞机设计制造 协同关联技术探讨

Research on the Cooperative Association of Aircraft Design and Manufacturing
Based on MBD

中航飞机西安飞机分公司 白永红 梁可 周盛 侯卓兵



白永红

航空宇航制造工程博士,研究员级高级工程师,中航飞机西安飞机分公司副总工程师,先后参与了国家“九五”、“十五”、“十一五”重大专项工作,参与和主持了多个飞机型号的研制和生产工作,主要研究方向为飞机型号研制项目管理、飞机数字化制造技术、先进制造技术与装备。

MBD (Model Based Definition) 技术是以三维数字化模型为核心的设计制造信息统一模式,它将三维设计信息、三维制造信息和产品管理

设计制造协同关联平台是基于 3D MBD PPR 统一数据模型而建立的。在关联平台中,以产品型号 MBD 模型为单一数据源,建立实时的 3D PPR 动态数字样机,将设计数据、工艺数据、工装数据及检验数据进行基于模型的关联,并且将 MBD 唯一数据源从产品设计开始贯穿于设计、制造、服务的全过程,真正做到基于产品单一数据源的产品全生命周期管理。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.18.040

信息共同定义到产品的三维数字化模型中,使制造单位以三维数字化模型为依据,开展工艺和工装设计,以及后续的制造、装配、检测、服务等工作,有效地解决了设计、制造、使用维护一体化的难题。

MBD 技术能更好地表达设计思想,以 MBD 技术为基础建立的设计制造关联协同环境,能有效地解决全三维设计数据管理、设计各专业并行、设计与制造并行协同、技术状态管理等问题,实现了各职能专业人员

在同一个未完成的产品模型上协同工作,使工艺、工装和产品设计同时开展产品设计、制造工艺、装配、工装和使用维护等工作和协调,打破了设计制造的壁垒,从而在产品阶段提前发现和解决问题,提高了产品的可制造性、可装配性和可维护性,提高了飞机产品质量,缩短了飞机研制周期。

在目前几个飞机型号的研制中,不同程度地应用了 MBD 技术,还有待于进一步提高应用的深度和广

度,克服目前存在的工作内容定义不清晰、关联度弱、对“并行”理解错误等问题,其主要应该解决的问题包括:一是 MBD 数模中同时包含了设计、工艺、制造、检验等数据,模糊了传统的设计所和制造厂之间的分工界限,这就要求必须树立“大设计”的概念。“大设计”包含的内容不仅是产品设计,同时还包含着工艺设计、工装设计等概念。而由于国内长期以来存在着设计所和制造厂分离的局面,导致了产品、工艺、工装、生产和检验等方面不能有效协同和融合。二是在产品设计成熟度阶段,数据更新非常频繁,目前基于 MBD 的协同关联设计的优势没有从设计端延伸到工艺/工装设计领域。

本文通过 MBD 技术、飞机设计制造协同技术以及关联(大)设计技术的应用,探讨解决现有飞机研制中暴露的设计与制造分离的问题,试图在数字化设计制造的基础上,实现设计与制造的协同与关联,在产品设计成熟度成长的过程中,产品设计、工艺设计、工装设计与制造共同开展相应的工作,实现两个目标:

(1) 实现 DFM,即面向制造的设计,减少制造技术等原因带来的设计更改,提高设计的可制造性。

(2) 实现工艺、工装设计与产品设计的协同与关联。随着产品设计成熟度的成长,工艺设计和工装设计也在按照各自的成熟度成长,产品设计完成的同时,工艺设计和工装设计基本完成,工装制造和零件生产的准备也基本完成。

飞机研制中基于 MBD 的设计制造协同关联技术途径

1 基于 MBD 的设计制造协同关联应用目标

飞机制造中,在统一的 3D PPR (产品工艺资源) 关联数据模型(如图 1 所示)的支撑下,定义和关联基于 3D 数模的设计构型(As-design)

和制造构型(As-Plan, As-Built),形成飞机研制(包括设计过程与制造过程)的单一数据源,设计、工艺和工装能在一致的集成的数字化平台中并行和协同,保证设计构型和制造构型的同步和一致。从 3D PPR 关联模型中输出一致的设计构型(EBOM/3D Model)和制造构型(MBOM、工艺路线、工装需求、装配指令等)数据集,最终达到缩短研制周期,提高研制质量的目标。

基于模型的 3D 工艺设计直接基于 3D 产品工程模型,定义、管理和验证从部装到总装完整的装配工艺流程,建立和管理装配单元,可视化地验证 3D 产品设计的可装配性,优化

模块定义。在装配工艺流程关联环境和约束下验证和优化工装设计,提供稳健的机制协调、管理和控制设计与制造之间的更改流程。

2 设计制造协同关联平台集成模型

设计制造协同关联平台集成框架模型的范围主要是针对产品设计构型、工艺构型和生产构型的定义,参见表 1。

基于 3D 模型设计制造关联平台的集成框架(如图 2 所示)包含主承制厂的基于 3D 模型的设计制造协同关联平台、主承制厂的 PDM/ERP 系统、分承制厂的 PDM/ERP 系统和主承制厂数字化装配生产线 4 大部分。

MBD 数据流在设计单位 PDM 系

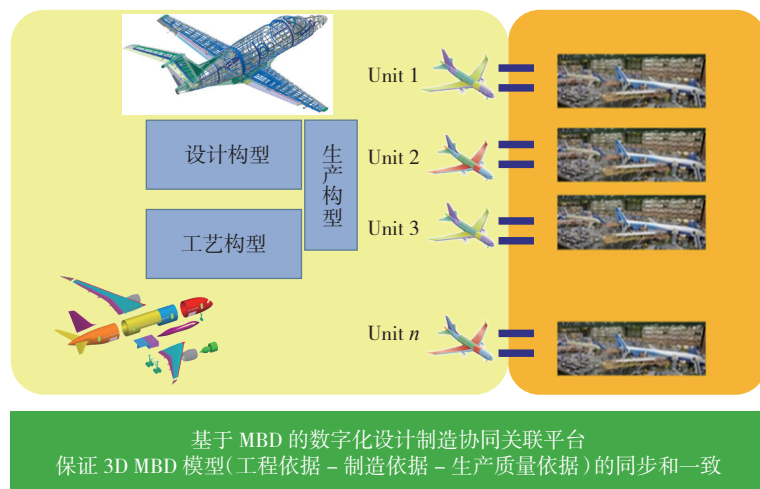


图1 统一3D PPR关联数据模型

表1 设计制造协同关联平台集成框架模型的范围

构型类型	主要构型数据集	MBD 构型数据集定义工具	管理平台	责任主体
需求构型	技术指标	DOORs	PDM	客服部门、设计部门
设计构型	工程数据: 3D 飞机产品设计数模	设计制造协同关联平台	PDM	设计部门
工艺构型	工艺数据: 制造成品(3D 装配单元/3D 零组件交付规范); 工艺路线、MBOM; 3D 操作指令(装配/检验/测试) 工装数据: 3D 工装设计数模; TBOM/TMBOM	设计制造协同关联平台	PDM	工艺部门、工装部门、质量部门
生产构型	制造数据: 制造检验记录	设计制造协同关联平台	ERP	生产部门、质量部门
服务构型	客服数据: 3D 维护数字样机; SBOM	3D MBD 维修平台	客服系统	设计部门、客服部门

统和制造单位 PDM 系统进行传输, 制造单位 PDM 系统与上游设计单位定期进行产品数据同步, 保证制造单位及时获得最新的产品设计数据; 与下游三维工艺系统紧密集成, 实时开展产品工艺设计、三维装配工艺仿真验证等; 同时, 在制造单位 PDM 系统平台上, 开展基于 MBD 的工装关联设计, 开展与产品 MBD 模型关联的工艺派生模型设计。

制造厂基于 3D 模型的设计制造协同关联平台保证产品设计、工艺设计、工装设计在集成一致的平台中开展工作。产品设计员利用 3D 设计平台工具进行设计构型的全三维数字化定义, 形成 3D 产品模型; 工艺员根据 3D 产品模型在 3D 制造平台中开展 3D 工艺设计、装配流程定义等; 工装设计员开展 3D 工装全三维数字化定义。其业务流程如图 3 所示。

产品、工艺、工装协同关联设计 & 流程控制

1 基于模型的产品、工艺、工装协同关联设计

PPR 数据模型(如图 4 所示)允许在 PPR 对象之间定义大量的关联。这些关联包含产品和产品的关联, 工艺与工艺的关联, 资源与资源的关联, 以及产品、工艺、资源之间的关联。这些关联关系定义了产品的工艺构型, 以及何时制造, 在哪里制造, 用什么制造等问题。

并行的 3D 研制方式要定义和管理任何两个零件之间的几何特征之间的关联, 几何特征与工艺、检验、资源的关联。PPR 数据模型以 3D 特征的方式捕捉设计和制造意图。特征不仅包含物理(几何)特征, 也包含功能特征。例如, 定义在特征中的智能信息可以代表几何特征, 增加相关的描述属性和控制公式。另外, 包括的智能信息也可能是刀具路径、关键尺寸约束和刀具选择规则等。

PPR 数据模型背后的逻辑非常

简单: 每个零件与至少一个制造流程和一个资源关联。因此, PPR 对象之间关系在任何时候都能获取, 这些关系在数据库中被清晰地定义和管理, 工程人员能够直接看到一类对象对另一类对象的更改影响。

产品设计模型描述产品组成以及产品与工艺、产品与工装之间的关系等内容(如图 5 所示), 如产品包括结构件(梁、框、肋、桁条)、系统件(管路、电缆)等。全 3D 数字化定义方法要求将装配连接的技术要求(配合

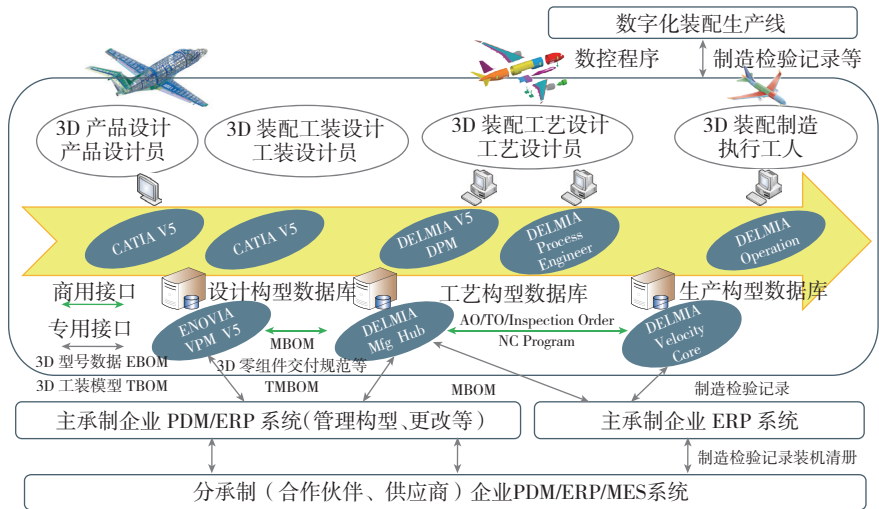


图2 基于MBD的设计制造协同关联平台

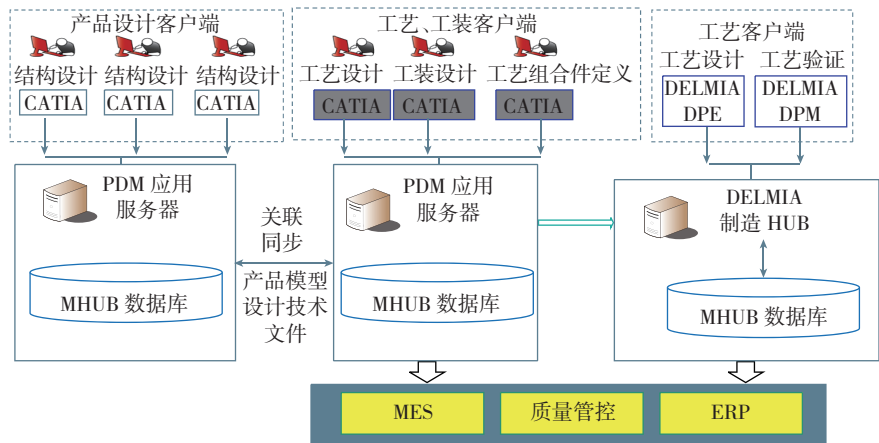


图3 工艺、工装设计业务流程

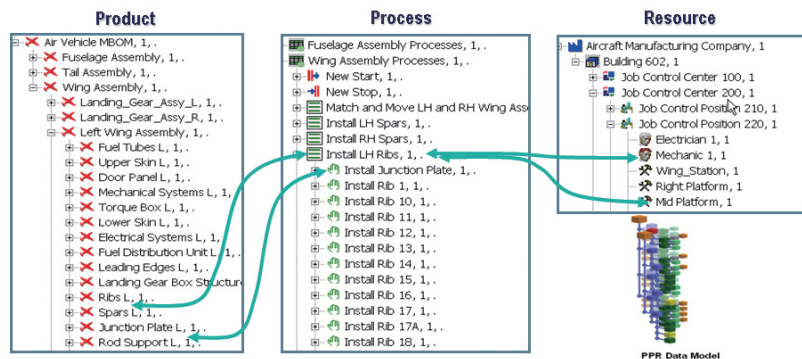


图4 PPR数据模型

要求、表面粗糙度,以及紧固件等)表达在ERM零件里。产品通过层次、替换、装配、引用等关系进行产品之间的关联。层次关系表示零部件的组成结构,可以通过部件对象的属性或关系对象来建立关联。产品模型中包含工艺构型的定义,通过工艺分离面划分,定义装配单元。

产品工艺关联的主要目的是确保所有的工程设计能够在制造工艺里进行消耗或分配。PFPP (Process 1st Processes Product)关联用于定义执行一份装配AO时所需要安装的零组件,会触发系统建立MBOM并

输出给制造业务系统。PPP (Process Processes Product)关联用于引用已经分配到某个工序的零件,表明为了完成装配需要的其他指令。PRP (Process Removed Product)关联用于定义一个零件需要从飞机临时或永久地被拆卸下来。PCP (Process Creates Product)关联用于识别零组件被建立是执行工艺流程、或是装配单元的输出。

产品工艺和工装间基于特征的PPR关联,使基于知识的工程、关联设计和面向生命周期的产品建模都在一个统一3D研制环境里。层次

化的带构型的3D PPR数据模型中包含3D产品数据、EBOM、装配单元/MBOM、工艺路线、工装需求、3D工装模型和装配指令等。这些信息能输出到ERP系统,支撑基于数模进行设计与制造协同的统一。3D PPR数据模型为产品研制提供了一个完整、实时、面向生命周期的框架模型,保证了设计制造之间数据的一致性和可追溯性。

2 产品、工艺、工装设计流程控制

产品、工艺、工装设计主要的业务模式如图6所示。主要的业务模式如下:

(1) 产品设计与工艺/工装设计的协同。

设计数模达到一定成熟度后,工艺设计、工装设计开展工作,通过PMD同步机制,将产品设计模型从设计单位PDM协同环境中同步到制造单位PDM协同环境中,工艺员和工装设计员应用各自的工具软件进行工艺规划、工艺设计、工装设计和相关验证工作。

(2) 工装部门内部的协同设计。

在制造厂的PDM协同环境的支持下,工装设计员引用飞机设计数模或工艺数模开展工装设计工作,包括

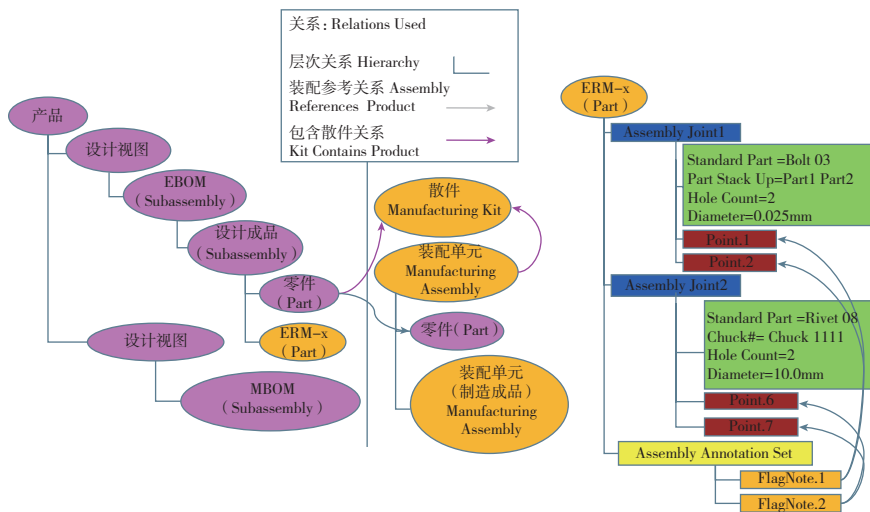


图5 关联模型

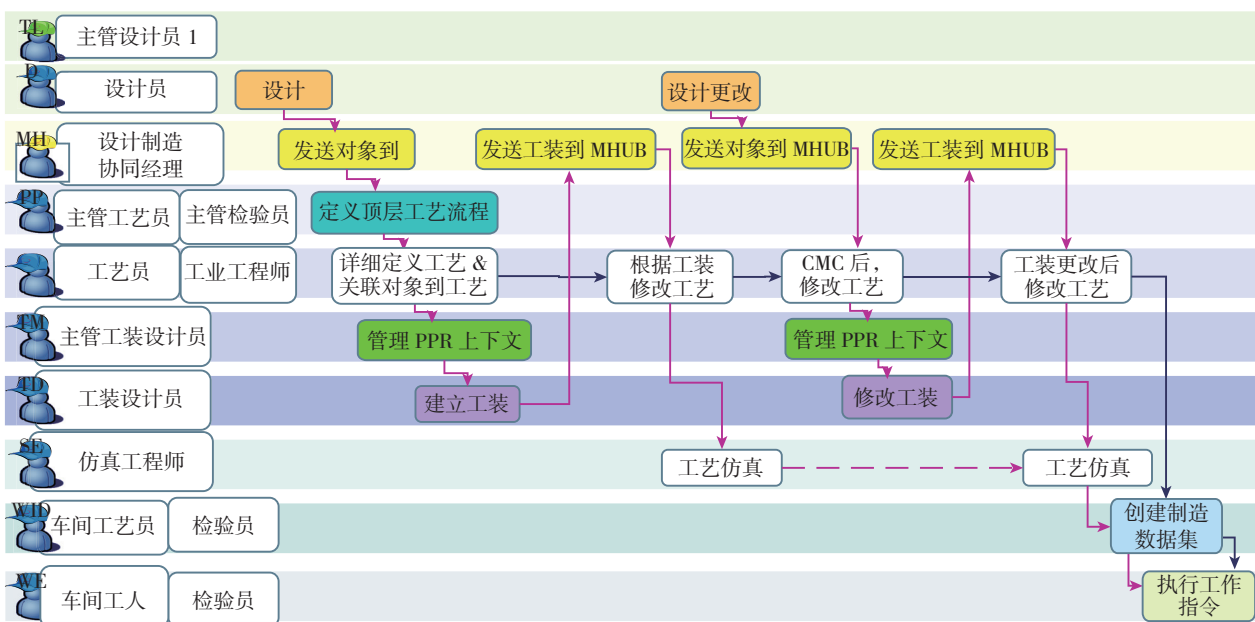


图6 业务模式

生成工装骨架模型、进行工装详细设计等。利用上下文关联设计支持,保证工装数据与骨架模型(包含产品设计骨架模型和工装骨架模型)进行关联。当产品设计数据发生变化时,工装设计数据可以实现更新,保证了产

品设计与工装设计的关联和协同。

(3) 基于成熟度的设计、工艺、工装协同机制。

采用成熟度的机制,来制定设计、工艺、工装相关的协同业务和工作内容。基于成熟度的协同工作可参考如下场景:

- 产品设计到某一成熟度时,工装设计开始进行(见图7);
- 基于设计数模或工艺数模,进行工装的详细设计(见图8);
- 上游数据发生变化时,下游模型可以进行更新(见图9)。

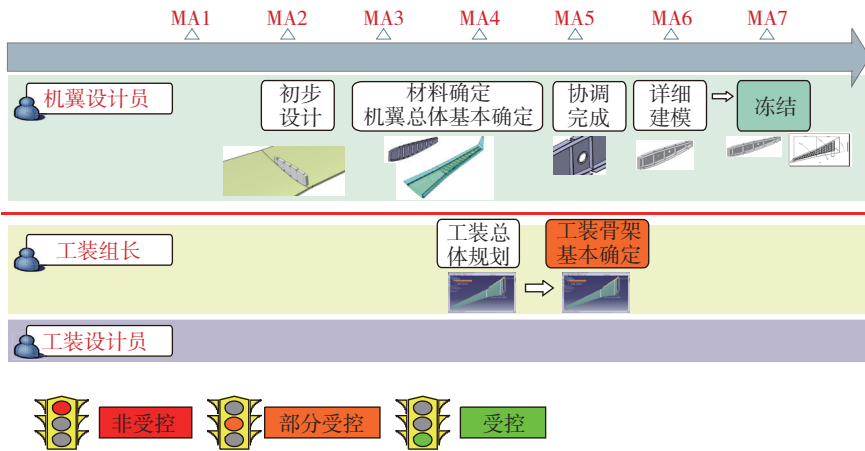


图7 成熟度阶段工装设计

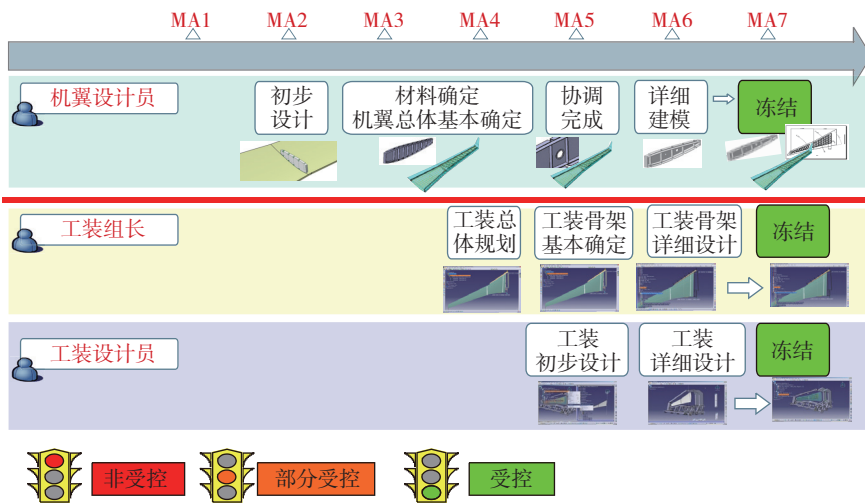


图8 设计数据发放后工装设计

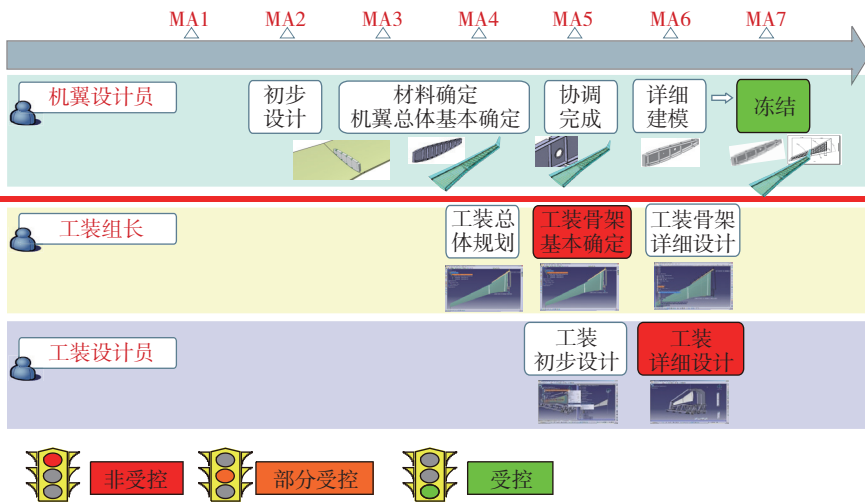


图9 工程更改后工装设计更改

结束语

在产品、工艺、工装统一的3D MBD协同关联设计环境中, IPT团队成员能够进行产品生命周期数据的完整定义,实现基于知识的构型控制管理。针对目前航空工业设计单位和制造单位分离的体制,以及飞机数字化研制平台的现状,设计制造协同关联平台的构建,可以保证在成熟度设计阶段,制造单位有效、及时、准确、完整地获取产品设计成熟度模型,并基于此产品成熟度模型开展工装、工艺的关联设计;上游产品设计在不断迭代完善设计过程中,下游设计可以及时得到更新;下游设计可以及时了解到上游产品模型正式发放后的工程更改,并完成工程更改贯彻,从而保证飞机实物技术状态得到有效控制。

设计制造协同关联平台是基于3D MBD PPR统一数据模型而建立的。在关联平台中,以产品型号MBD模型为单一数据源,建立实时的3D PPR动态数字样机,将设计数据、工艺数据、工装数据及检验数据进行基于模型的关联,并且将MBD唯一数据源从产品设计开始贯穿于设计、制造、服务的全过程,真正做到基于产品单一数据源的产品全生命周期管理。

(责编 谷雨)