

采用 MBD 技术的液体火箭 发动机三维模型设计

秦红强, 裴 曦, 范文婷, 张相盟, 巨 龙
(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 采用 MBD (Model Based Definition) 技术, 以 Pro/E 和 Intralink 为协同设计平台, 首次实现了液体火箭发动机的全三维数字化模型设计。通过将设计、工艺、材料和制造等相关信息包含在三维模型中, 并将三维模型电子分发下厂, 实现了用 MBD 模型完全取代传统研制模式中的二维图纸; 同时基于 MBD 模型实现了三维仿真和装配过程分析, 减少了方案反复。结果表明采用 MBD 技术的三维模型设计可显著提高产品研制效率, 并为三维数字化制造奠定了坚实基础。

关键词: MBD; 液体火箭发动机; 三维模型; 协同设计; 三维仿真

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2017) 03-0042-05

The 3D model design of liquid rocket engine using MBD technology

QIN Hongqiang, PEI Xi, FAN Wenting, ZHANG Xiangmeng, JU Long
(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: Using MBD (Model Based Definition) technology, the 3D model design of liquid rocket engine was realized on the platform of Pro/E and Intralink for the first time. The design, process, material and manufacture information were contained in the 3D model which were distributed electronically to factory and replaced the 2D drawings in the traditional development mode. Based on the MBD model, the 3D simulation and assembling process analysis were carried out, which decreased the scheme iteration. The research results indicate that the 3D model design using MBD technology can remarkably increase the development efficiency. Meanwhile, it can lay a solid foundation for the 3D digital manufacture.

Keywords: model based definition; liquid rocket engine; 3D model; collaborative design; 3D simulation

收稿日期: 2016-11-01; 修回日期: 2017-02-13

基金项目: 国家 863 项目(2013AA70202)

作者简介: 秦红强 (1983—), 男, 工程师, 研究领域为液体火箭发动机总体设计

0 引言

目前液体火箭发动机研制大多采用二维图纸为主、三维模型为辅的数字化研制模式。设计人员先完成产品方案设计和三维模型, 然后将三维模型投影成二维图纸, 在完成所有尺寸标注和信息填写后晒兰下厂, 二维图纸成为生产加工的唯一依据。在该研制模式下, 三维模型仅用于方案设计和辅助出图, 不能用于产品加工、装配和检验等, 未能充分发挥三维模型的作用。

随着信息化和计算机技术的快速发展, 采用 MBD (基于模型定义, Model Based Definition, 简称 MBD) 技术的三维数字化设计与制造模式已在国内外航空、航天等领域广泛应用, 并引起了设计过程和制造模式的革命性变革。该模式将 MBD 模型作为设计、加工过程中信息的唯一载体, 并为并行协同设计提供了技术途径。

结合液体火箭发动机研制特点, 通过采用 MBD 技术, 某液体火箭发动机在国内首次实现了发动机全三维数字化协同设计。本文主要论述了 MBD 技术在该液体火箭发动机数字化设计中的应用情况, 进一步促进了 MBD 技术在液体火箭发动机领域的应用。

1 MBD 技术及其应用现状

1.1 MBD 技术

基于模型定义 (MBD) 技术是将产品的所有相关设计定义、工艺描述、属性和管理等信息都附着在产品三维模型中的先进数字化定义方法。

MBD 技术最初由波音公司于 20 世纪 90 年代提出, 并于 2003 年被美国 ASME 批准为机械产品工程模型的定义标准, 即 ASME Y14.41 《数字化产品定义数据实施规程》。后来波音公司在该标准的基础上做了进一步研究, 制定了 BDS-600 系列应用规范。2006 年, ISO 组织借鉴 ASME Y14.41 和 BDS-600 标准, 制定了 ISO 16792 标准, 进一步推动了数字化技术的应用发展^[1-2]。

MBD 是产品定义方式的一次革命, 它以更为强大的表现力和易于理解的定义方式, 极大地提高了产品定义的设计质量和利用效率, 使设

计、制造融为一体, 代表着未来产品设计技术的发展方向^[3]。

1.2 国外应用情况

波音公司早在 20 世纪 90 年代中期就已提出 MBD 的概念。从 2004 年开始, 波音公司在 787 客机的设计和制造中开始全面应用 MBD 技术, 实现三维模型完全取代二维图纸。MBD 技术使三维实体模型成为飞机研制过程中的唯一依据, 有效提升了飞机研制的效率和质量, 并为波音公司带来了巨大的效率^[4]。2009 年, 波音公司在新一代“战神”航天运载器研制中采用了 MBD 技术, 实现设计制造一体化, 缩短装配工期 57%。与此同时, 空客、洛克希德·马丁等公司也在项目研制中全面采用了 MBD 技术^[1]。

1.3 国内应用情况

在国内, 许多学者和航空航天单位已经充分认识到 MBD 技术将是今后数字化设计与制造的发展趋势, 并大力开展以 MBD 为代表的数字化技术的研究与应用。2009 年, 全国技术产品文件标准化技术委员会借鉴国外 MBD 先进经验, 结合我国机械行业实际情况, 制定了 GB/T 24734 系列《数字化产品定义数据通则》, 对产品的三维设计制造进行了相关规定^[1,5]。

目前 MBD 技术在国内航空领域应用较多, 并已在以大飞机为代表的多种型号飞机的数字化设计与制造中得到应用^[2-4,6-9]。在航天领域, MBD 技术的应用则起步相对较晚, 目前仅在新一代运载火箭上初步使用^[1,10,11], 在液体火箭发动机领域的应用则相对较少。

2 MBD 模型设计及应用

为了改进液体火箭发动机研制模式, 提升我国液体火箭发动机设计水平, 某液体火箭发动机采用了 MBD 技术, 在国内首次实现了发动机全三维数字化设计, 促进了 MBD 技术在液体火箭发动机领域的推广和应用。

2.1 协同设计平台

要实现采用 MBD 技术的数字化设计, 必需构建一个三维协同设计平台。首先是选择三维建模软件, 目前比较流行的三维设计软件有很多,

如 CATIA、Pro/E (Creo)、UG、SolidWorks 和 AutoCAD 等。为了便于与火箭总体进行结构协调,某液体火箭发动机采用了 PTC 公司的 Pro/E 软件作为三维建模软件。在有了三维设计软件之后,协同平台还要为用户提供一个与三维设计无缝集成的模型共享机制,确保产品研制数据的一致性、共享性、有效性、完整性和可追溯性。Intralink 是 PTC 公司开发的一个与 Pro/E 软件无缝集成又基于 WEB 的设计协同平台,它支持不同部门的多个 CAD 用户实时进行协同设计^[1]。因此某液体火箭发动机最终选择 Pro/E+Intralink 作为三维协同设计平台,其工作流程见图 1^[12-13]。

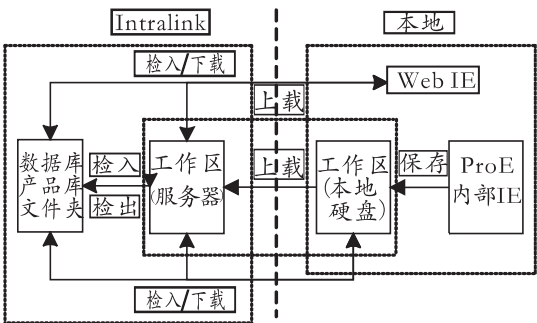


图 1 工作流程
Fig. 1 Working process

2.2 三维设计规范
三维设计和原有的二维设计是两种不同的设计模式,必须有合理、严格的标准规范进行约束。

首先结合液体火箭发动机设计特点,参考国内外三维数字化设计规范,制定了二十余项适用于液体火箭发动机的三维数字化设计标准,规范化了三维模板、三维模型命名、三维模型着色、标准件库使用、三维标注和模型管理等内容。

2.3 三维模型设计
建立 MBD 三维模型是开展三维数字化协同设计与制造的基础和核心工作,该模型必须确保包含所有设计信息。

在某液体火箭发动机研制中,设计人员按照系统设计要求进行结构方案设计和规范化三维建模,并采用 IPT 模式完成工艺会签、标审等工作,其中三维建模和三维标注模型设计的核心工作。目前三维标注工作包含全尺寸标注,明确技术要求和模型属性参数(见表 1)填写等工作,其中全尺寸标注和技术要求与原有二维图纸包含内容基本一致,而三维模型属性参数则用于明确材料属性、工艺路线和更改信息等内容。MBD

表 1 三维模型属性参数

Tab. 1 Property parameters of 3D models

参数符号	参数含义	参数符号	参数含义
PINDEX	产品代号	TEXT	备用
PTC_COMMON_NAME	模型名称	MATURITY	成熟度
CINDEX	图号	KEY_CHAR	产品特性
MAT	材料名称	SECRET	密级
MAT_UP	材料规格	DEPARTMENT	设计单位
MAT_DOWN	材料标准	MODIFY_SIGN	更改标记
PHASE_CODE	阶段标记	MODIFY_ID	更改单号
PROCESS_PATH	工艺路线	MODIFY_PERSON	更改人
CTYPE	零部件分类	MODIFY_DATE	更改日期

模型实现了真正的无纸化设计。

2.4 设计状态控制

设计状态控制是设计工作的一项重要内容。在使用二维图纸时, 晒兰下厂图纸代表了产品最终设计状态, 某液体火箭发动机则通过三维模型版本号来区分。因此为了保证设计状态的正确性和唯一性, 需要对三维模型版本号进行严格控制和区分。

由于 Intralink 平台不能实现流程管理, 因此某液体火箭发动机采用了 Avidm+Intralink 协同管理模式, 其中 Avidm 负责管理三维模型审批表、明细表和更改单, Intralink 平台实现三维模型存储、共享和基线管理。在三维模型审批表和更改单中需具体明确最终设计状态的模型版本号和基线号, 确保设计状态全程受控。

2.5 三维模型分发

在传统的二维设计模式中, 电子图纸需晒兰后分发下厂, 工艺人员在接收到晒兰图纸后才能开始工艺文件设计、工装设计等工作。采用 MBD 技术完成三维模型设计后, 模型分发下厂流程也随之发生变化。

在某液体火箭发动机设计中, 设计人员完成模型文件审批流程和三维模型基线受控后, 档案部门直接将三维模型基线电子分发到工厂, 工艺人员根据三维模型审批表在 Intralink 中下载和查看相关三维模型, 然后开展后续工作。电子分发简化了三维模型下厂流程, 在提高工作效率的同时又降低了研制成本。

2.6 三维模型更改

产品设计状态更改是发动机研制过程中不可避免的工作内容。传统的二维图纸更改一般采用刮改、换页或换版等方式, 并通过下发更改单明确具体更改内容。

采用 ProE 软件建立的三维模型可实现参数化设计, 对于不改变拓扑结构的简单更改, 仅需对建模特征参数进行修改后更新三维模型就可实现设计要求更改, 操作简单方便。对于改变拓扑结构的复杂更改, 则需对更改特征进行重新建模, 并同时增加相关三维标注。在更改单中, 需明确三维模型更改前后的版本、基线和具体更改

内容。

2.7 三维仿真分析

随着仿真技术的飞速发展, 仿真分析已成为液体火箭发动机研制的重要内容。由于液体火箭发动机及其组件结构方案复杂, 并涉及流动、传热、燃烧等复杂物理化学变化, 一维和二维仿真分析不能完全模拟发动机真实工况情况。采用三维数字化设计后, 仿真分析模型更加真实, 载荷加载和边界定义更加准确, 可进一步提高仿真分析的准确度和精确度。

在某液体火箭发动机研制中, 发动机整机和相关组件均开展了刚度、强度、流场、传热以及气热固耦合等三维仿真分析 (见图 2), 并根据仿真分析结果进行方案和结构优化, 使最终设计方案更加完善, 发动机性能和可靠性有了进一步提高^[14]。MBD 模型的建立促使三维仿真分析进入了发动机研制主流程。

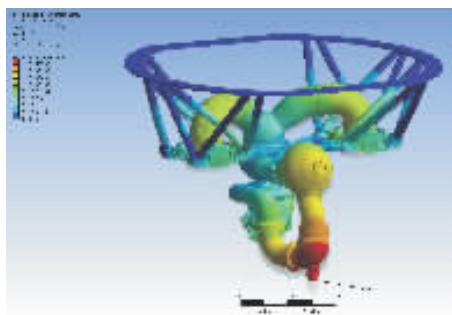


图 2 结构变形图

Fig. 2 Diagram of structure deformation

2.8 三维装配模拟

液体火箭发动机结构复杂, 零部件数量多, 若结构方案设计不合理, 很可能出现产品加工好后装配困难或者无法装配问题。在建立全三维模型后, 可在结构方案设计阶段利用三维模型进行产品装配过程模拟仿真, 提早发现方案设计缺陷, 避免结构方案反复。同时三维模型可以用于指导现场装配, 提高装配效率。

某液体火箭发动机关键技术综合演示验证装置为首次研制, 包含了二十多种新研组件, 结构十分复杂, 通过开展三维数字化模装进行装配方案验证, 首台产品实现了一次性成功装配。

3 结论和建议

1) 和传统的二维研制模式相比, 采用 MBD 技术的三维数字化设计可显著提高产品设计效率, 缩短研制周期。该研制模式也已成为液体火箭发动机研制模式的发展趋势。

2) MBD 技术在液体火箭发动机领域的应用仍处于起步阶段, 目前仅实现三维数字化设计, 后续应争取实现三维数字化制造, 全面推进液体火箭发动机三维数字化研制工作。

参考文献:

- [1] 何德华, 肖鹏飞, 蔡亚宁. MBD 技术在航天器研制中的应用探讨[J]. 航天器工程, 2014, 24(1): 126-132.
- [2] 李婷婷, 刘俊堂, 张永辉. MBD 技术在大飞机研制中的应用[J]. 航空制造技术, 2014(17): 88-92.
- [3] 冯潼能, 王铮阳, 孟静晖. MBD 技术在数字化协同制造中的应用与展望[J]. 南京航空航天大学学报, 2012, 44: 132-137.
- [4] 曲直, 田宪伟, 李春威. MBD 技术在飞机设计中的应用[J]. 航空制造技术, 2013 (12): 103-106.
- [5] 全国技术产品文件标准化技术委员会. GB/T24734. 1-11-2009 技术产品文件 数字化产品定义数据通则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [6] 范玉青, 梅中义, 陶剑. 大型飞机数字化制造工程[M]. 北京: 中航工业出版社, 2011.
- [7] 拜明星, 齐鹏斌. MBD 技术在飞机研制中的应用[J]. 航空制造技术, 2013 (22): 102-105.
- [8] 周养萍, 亓江文. MBD 技术在大飞机研制中的应用实施方法[J]. 机械设计与制造工程, 2013, 42(12): 24-27.
- [9] 田承根, 朱天文, 刘新宇. 全三维技术在飞机设计中的应用[J]. 航空制造技术, 2012(22): 57-60.
- [10] 乔志峰, 赵庆斌, 李刚, 等. 基于 MBD 的数字化仿真技术在航天制造企业应用研究[J]. 航天制造技术, 2014 (5): 6-10.
- [11] 王红雨, 顾翠, 敬石开. 模型成熟度驱动的航天 IPT 协同研制模式研究[J]. 航天制造技术, 2013 (10): 63-67.
- [12] 秦红强, 王猛, 杨亚龙, 等. 液体火箭发动机三维数字化协同设计研究[J]. 火箭推进, 2016, 42(3): 76-80.
QIN Hongqiang, WANG Meng, YANG Yalong, et al. Study on 3D digital collaborative design of liquid rocket engine[J]. Journal of rocket propulsion, 2016, 42(3): 76-80.
- [13] 李亚杰, 何阳. 三维工艺与 MES 在航天发动机数字化制造中的应用研究[J]. 火箭推进, 2015, 41(2): 90-97.
LI Yajie, HE Yang. Application of 3D process and MES in digitalization manufacture of space engine[J]. Journal of rocket propulsion, 2015, 41(2): 90-97.
- [14] 裴曦, 王涛, 杨飒, 等. 发动机主承力构件热结构特性分析[J]. 火箭推进, 2016, 42(3): 41-44.
PEI Xi, WANG Tao, YANG Sa, et al. Primary structure of engine thermal structure characteristics analysis [J]. Journal of rocket propulsion, 2016, 42(3): 41-44.

(编辑: 陈红霞)