

VPD技术在导弹推进系统研制中的应用

Application of VPD Technology in Development of the Missile Propulsion System

中国空空导弹研究院 张全 刘乐卿

[摘要] 介绍了 VPD 技术在导弹推进系统研制中的应用, 主要研究了虚拟建模、流场分析、有限元分析、虚拟装配和虚拟加工等关键技术。实践证明, VPD 技术能够大大缩短产品的设计周期, 降低设计制造成本, 是新一代制造技术的发展趋势。

关键词: 虚拟产品开发 推进系统 固体火箭冲压发动机

[ABSTRACT] The application of VPD technology in missile propulsion system is introduced. The key technologies including virtual modeling, flow field analysis, finite element analysis, virtual assembly and virtual machining are discussed. It is proved that VPD technology can shorten the product design period and reduce the design and manufacturing cost. VPD is the development trend of the advanced manufacturing technology.

Keywords: Virtual product development Propulsion system Solid rocket-ramjet engine

传统机载武器产品的研制过程大致可分为以下几个阶段: 预研阶段、方案论证阶段、初样阶段、试样阶段、定型阶段和批生产阶段。其中, 大部分的人力和物力都花费在初样、试样以及定型阶段。在研制过程中, 设计人员很少考虑产品的装配工艺及生产加工工艺, 使得产品的工艺性和制造性较差。而工艺人员和加工人员又了解产品的设计思想、产品的功能和性能, 很多问题只有在产品加工过程中甚至加工后才发现, 所以废品率较高。传统的研制过程周期长且容易造成资源浪费, 已经不适合现代制造业的发展步伐。随着计算机技术和信息处理技术的不断发展, 诞生了许多先进制造技术和先进制造模式, VPD 技术就是其中很重要的一种。

VPD 技术以虚拟现实和仿真技术为基础, 对产品的设计、生产过程进行统一建模, 在计算机上实现产品从设计、加工、装配、检验到使用整个生命周期的仿真^[1]。这样可以在产品的设计阶段就模拟出产品及其性能和制造过程, 以此来优化产品的设计质量和制造

过程, 并优化生产管理和资源规划。目前我国 VPD 技术多用于航空航天、汽车、船舶等行业。本课题以导弹固体火箭冲压发动机的研制过程为例, 介绍 VPD 技术在导弹推进系统研制领域的应用。

推进系统(通常称为发动机)是导弹的重要分系统之一, 它为导弹提供飞行动力, 以保证导弹获得所需要的速度和射程。作为导弹弹体的重要组成部分, 推进系统应满足导弹结构、气动外形等要求。整体式固体火箭冲压发动机是冲压技术与火箭技术有机结合产生的新型动力装置, 主要由助推-冲压补燃室(助推器+冲压补燃室)、燃气发生器、进气道以及点火器和转级机构等组成, 其结构示意图见图 1。

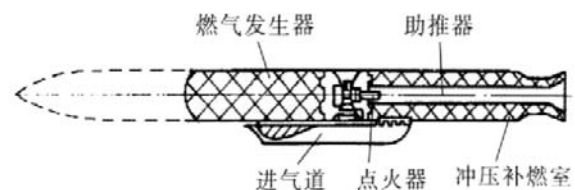


图 1 整体式固体火箭冲压发动机结构示意图

Fig.1 Sketch of integral solid rocket-ramjet engine structure

1 虚拟建模

虚拟建模是 VPD 系统的核心, 主要内容是根据产品的设计尺寸建立三维几何模型。虚拟建模是 VPD 的基础工作, 并为其他设计、分析工作提供产品的数据源。虚拟建模通过 CAD 软件来实现, 常用的 CAD 软件包括 UG、Solidedge、CATIA 等。图 2 为在 UG 软件中建立的发动机挡圈模型。零件模型建立后, 根据各个零件的位置、连接、配合、运动等装配关系, 在 CAD 软件中对已经建好的三维模型进行自底向上的模拟装配, 为性能分析做好准备。

2 流场分析

发动机在高温、高压下工作, 由推进剂燃烧产生的燃气流过燃烧室通道, 与推进剂燃烧和绝热层烧蚀相互作用。由于试验条件的限制, 不能用通常的直接

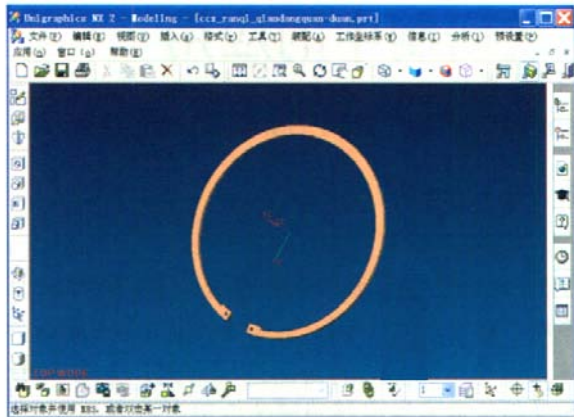


图2 发动机挡圈建模

Fig.2 Modeling of engine block ring

测量手段测量高温燃气的流场参数,因此,国内外大力发展计算流体力学,用某些简化的测量结果验证计算,然后外推至用试验难以测量或试验费用昂贵的参数范围,来研究发动机内部的燃烧流动过程。

流场分析一般使用商用 CFD 软件 Fluent 进行。以固体火箭冲压发动机内流场求解为例,整个求解过程主要由 3 部分组成:首先对固体冲压发动机进行 CAD 几何建模,通过几何造型确定求解区域;其次针对既定的求解区域确定既符合实际又有利于计算的边界条件,并进行合理而有效的网格离散;最后迭代求解直到整个求解域数值解的最小残差收敛到目标残差。图 3 为 Fluent 中固体冲压发动机内流场仿真的计算结果。

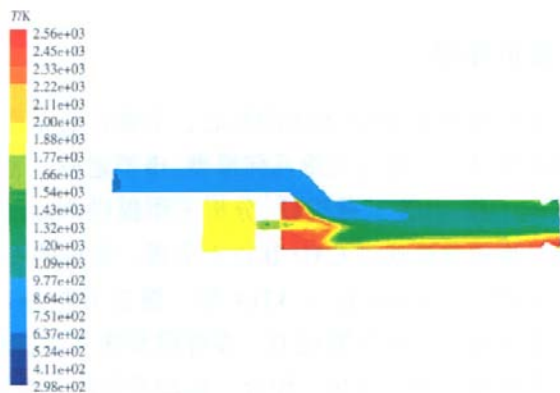


图3 固体冲压发动机对称面温度云图

Fig.3 Temperature cloud chart of solid rocket-ramjet engine symmetry

3 结构的有限元分析

发动机中有许多重要的受力件,它们在载荷作用

下的受力、变形以及稳定性都是设计者和用户十分关心的。通过 FEA 软件(Nastran, Ansys 等)进行结构强度计算,以确定各零部件的应力、应变状态和承载能力。依照计算出的应力、应变的分布情况,分析各部件的变形特征以及薄弱环节,验证是否达到设计要求。

FEA 软件的实施过程包括前处理、分析计算和后处理 3 个部分。以发动机喷管为例,首先从 CAD 系统获得分析的几何模型,对模型赋予材料,通过网格划分生成节点和单元,并从运动学、动力学分析系统中分别获取边界条件和载荷。前处理是经济可靠地进行结构分析的关键。前处理工作完成后,就可以进行有限元计算,分析计算由计算机自动完成,包括单元分析、整体分析、结构计算等内容,从解线性方程组开始,完成节点位移、节点力等计算。后处理是指对计算结果的整理和分析,是实现有限元分析最终目的的手段^[2]。图 4 为喷管的局部应力云图。通过后处理功能可显示计算结果,绘制应力图、变形图,制作变形动画等。

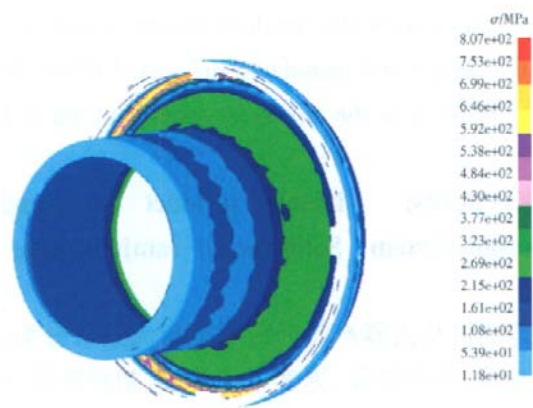


图4 导弹喷管局部应力云图

Fig.4 Local stress cloud chart of nozzle

4 虚拟装配

虚拟装配是指在计算机上对产品模型进行数据描述和可视化数字装配,通过仿真手段分析产品模型,评估装配工艺,优化产品设计和装配工艺过程,及时发现与设计有关的潜在问题,以便作出正确的与装配有关的工程决策^[1]。图 5 为 UG 软件中某固体火箭冲压发动机的三维装配模型。装配模型描述了零、部件之间的层次关系、装配关系以及不同层次的装配体中的装配设计参数的约束和传递关系。

通过虚拟装配可对各个级别的装配体零件进行干涉检查,也可对零、部件在构成整个产品的装配过

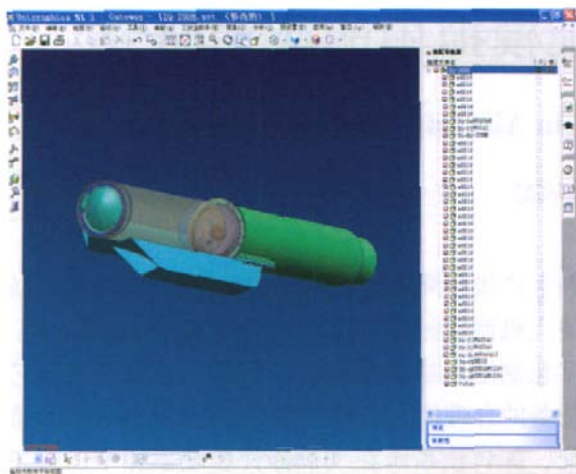


图5 发动机装配模型

Fig.5 Assembly model of engine

程中的可装配性进行检查。同时,将零、部件的装配信息反馈给设计与工艺人员,便于零件与工装夹具的设计改进以及装配人员领会设计与装配规程^[3]。装配仿真动画还可对多种装配序列和装配路径进行比较,最终获得最优的装配序列和路径,减少实际生产中的装配时间。图6为某固冲压发动机装配仿真动画。

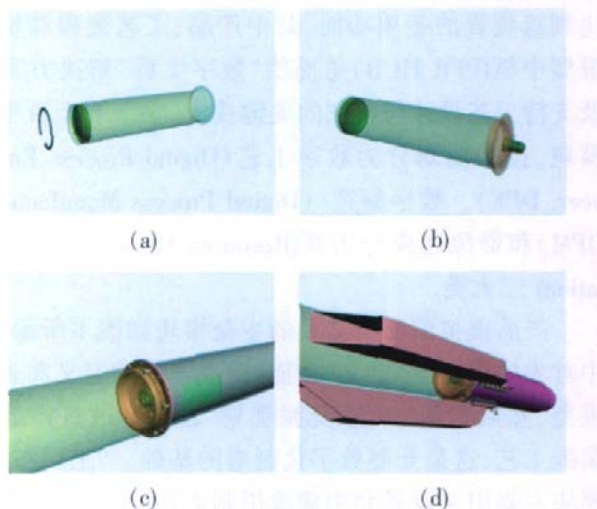


图6 发动机装配仿真动画

Fig.6 Assembly simulation animation of engine

5 虚拟加工

由于发动机中有很多结构复杂的零件,所以在数控加工过程中,刀位点的计算十分复杂,这给数控编程带来很大困难。虚拟加工就是采用计算机仿真技术,对加工中心进行建模,由此在计算机上实现如车、铣、镗、钻等产品加工过程,为VPD建立一个真实的

可视化的加工环境^[4]。虚拟加工过程可通过CAD/CAM软件如UG-、CATIA、MasterCAM等实现,这些软件可根据产品的几何信息和加工工艺规划自动生成刀具路径和数控代码。以UG-为例,首先对待加工产品的CAD模型进行工艺分析和规划;然后设置切削方式、刀具参数等,生成刀具路径并对刀具路径进行检测;最后生成数控代码。虚拟加工利用计算机代替人力计算可以使数控编程的工作大大简化,可以有效地降低产品加工成本,尤其适合新型产品的研制。

6 结论与展望

本课题以固体火箭冲压发动机为研究对象,介绍了VPD技术的虚拟建模、流场分析、有限元分析、虚拟装配、虚拟加工等技术在导弹推进系统研制中的应用,展示了VPD技术高集成、高效率、低成本的特点。

此外,VPD技术还包括动力学分析、虚拟试验、虚拟企业等技术,涉及了CAD、CAE、CAM、CAPP、PDM等多方面的技术,目前已经广泛用于先进制造业中。随着计算机技术,特别是信息技术的发展,VPD技术在航空航天武器系统研制领域将会有更加广阔的应用前景。

参 考 文 献

- [1] 肖田元. 虚拟制造. 北京: 清华大学出版社. 2004: 11-16.
- [2] 吴祚宝, 肖田元. 虚拟制造环境下有限元分析的应用. 清华大学学报(自然科学版), 2000, 40(7): 66-69.
- [3] Gupta Sayandra K, Paredis Christia J. Intelligent assembly modeling and simulation. *Assembly Automation*, 2001, 21(3): 215-235.
- [4] 王卫兵. UG NX 数控编程实用教程. 北京: 清华大学出版社. 2004: 8-9.

(责编 晓霏)

俄苏霍伊公司成为波音公司的正式供货商

日前,俄罗斯“苏霍伊”航空控股公司所属的阿穆尔共青城航空生产联合体被核准为美国波音公司的正式供货商。

此前阿穆尔共青城航空生产联合体通过了质量和生产管理体系的全方位审查,国际认证机构 Bureau Veritas Certification 向联合体发放了符合 AS/EN 9100 航空航天标准要求的质量管理体系证书。该认证对民航飞机和部件的生产、工业协作、售后服务和技术维护等方面做出了规定。

目前,该联合体正在为波音 737 飞机生产一批钛合金零件样品。(本刊记者 依然)