

复杂产品数字样机开发的关键技术

Key Technology for Digital Mock-up Research and Development of Complex Product

中航工业商用航空发动机有限责任公司 南长峰 孟祥海 蔡真

[摘要] 为研究复杂产品数字样机开发中的关键技术,本文以航空发动机为例,对其数字样机的建模、装配和关联设计方法进行了分析。首先,基于CAD软件,建立了航空发动机零部件三维模型;其次,对上述零部件进行了子装配与整机装配,并对其过程中的轻量化模型、约束关系和干涉检查等问题进行了研究;最后,通过WAVE技术,实现整体叶盘的关联参数设计,使数字样机最优地取代物理样机,推进了高质、高效、低成本的产品设计和制造技术的发展。

关键词: 数字样机 数字化装配 航空发动机 复杂产品 WAVE技术

[ABSTRACT] In order to study the key technology involved in the digital mock-up research and development of complex products, aeroengine is taken as example to analyze the methods of modeling parts, assembly and associated design in the digital prototype. Firstly, 3D models of aeroengine parts are established through the CAD software. Then, for the purpose of studying the lightweight, constrains, interference and other problems occurred in the assembly process, the sub-assemblies and full assembly of the engine prototype are conducted based on those 3D models. Finally, by means of utilizing WAVE technology, the associated parametric design of the blisk is achieved. By replacing the physical prototype with the digital mockup, it promotes the design and manufacturing development of high-quality, high-efficiency and low-cost products.

Keywords: Digital mock-up Digital assembly Aeroengine Complex product WAVE

数字样机(digital mock-up)技术^[1]也称虚拟样机技术,是20世纪80年代随着计算机技术发展而迅速发展起来的一项新技术。它的概念是指建立整个产品的全三维数字化模型,实现对产品整体显示和装配过程的模拟。数字样机技术能够缩短机械产品的设计开发周期,减少产品开发费用和成本,提高产品质量与性能,获得最优的创新产品。然而目前该技术还未应用到航空

发动机产品研制过程中。

航空发动机是飞机的心脏,其零部件数目庞大,结构复杂,工艺制造与装配难度大,被喻为“工业皇冠上的明珠”。建立航空发动机的数字样机可实现需无数次物理样机才能完成的试验,从而无需制造及试验物理样机就可获得最优方案。

基于此,本文建立航空发动机整机零部件的三维模型,通过轻量化模型处理与零部件的约束关系,对航空发动机进行了子装配与整机装配,并对装配结果进行了干涉检验。最后,通过WAVE技术,建立了部件的关联关系,实现了部件的关联参数设计。

1 航空发动机数字样机建模

零部件三维模型建立的过程是零部件数字化定义的过程,其目的在于实现零部件的几何可视化,从而便于设计、制造和管理人员从外观方面理解零件的构造,可以方便地在计算机上对零部件进行重量、平衡和应力分析;利用包含各种数据参数的三维模型实现各种零部件的精确配合,减少设计错误、更改和返工现象。完整的零件数字模型应该包括管理参数、形状几何参数、技术参数、精度参数和材料属性。

在航空发动机的研制过程中,制定了零部件的命名规则与建模规范(包括基于MBD的三维标注技术),在NX7.5的环境下,建立了航空发动机数字样机所需的各类零部件模型(叶片类、机匣类、盘轴类、管路类及非规则类零件),共计10000多个。本文仅以叶片类零件为例,对其建模方法进行阐述。

叶片类零件^[2]是航空发动机的关重部件,按照结构特征,分为压气机叶片与涡轮叶片。这类零件叶片型面为空间扭曲自由曲面,材料多为钛合金、高温合金等难加工材料,属于结构复杂、工艺制造过程难以实现的复杂产品。为满足设计与制造的需求,建立叶片类零件的精确化模型,在CAD软件环境下,开发、集成了一套叶片类零件的建模方法与流程,如图1所示。依照开发的流程,建立的压气机与涡轮叶片三维模型如图2所示。

基于叶片类零件的气动数据,按照上述流程可以快速、准确地实现这类零件的三维模型,为结构设计、强度

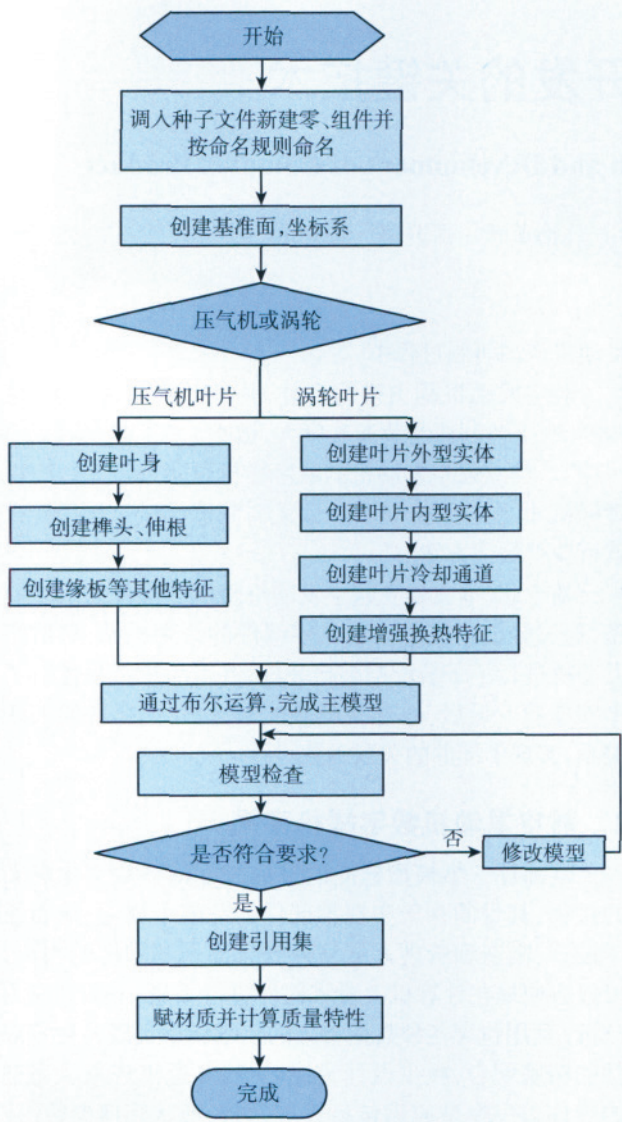
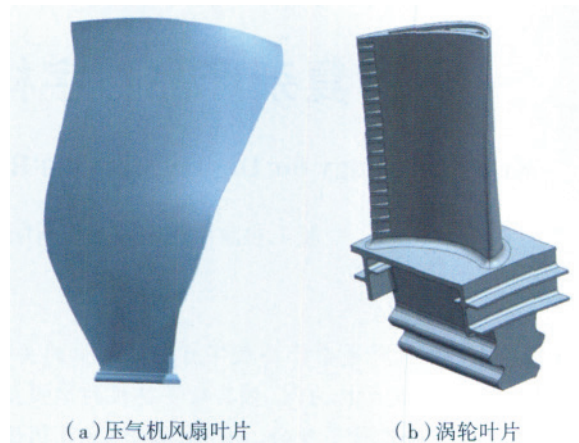


图1 叶片类零件建模流程
Fig.1 Modeling process of blades



(a) 压气机风扇叶片 (b) 涡轮叶片

图2 叶片类零件三维模型
Fig.2 3D model of blades

息,故需过滤产品模型中的非几何信息以简化产品模型。通过利用拓扑、几何数据的提取,数据拷贝,拓扑异构处理的技术完成非几何信息的过滤。过滤后仅含几何信息的模型中,仍然存在大量逼近生成的自由曲线曲面,随着曲面控制点网格密集程度的增加其数据量急剧增大,然而,装配过程中对模型精度的要求低于造型系统,为此需采用减少控制点,降低精度来简化自由曲线曲面。

现有的 CAD 软件如 NX,已经将上述技术集成开发成功能模块,故本文在 NX7.5 环境下,采用此功能模块,使整机模型所占空间由 2132.8MB 减少到 120MB,大大减少了模型存储空间,实现了模型的轻量化处理,使后续的可视化装配成为可能。

2.2 装配约束

装配体中的装配配合是在零部件之间加入必要的约束关系,以此来定义零部件位置和方向,这些约束关系包括接触对齐、同心、距离、固定、平行、垂直、拟合、胶合、中心和角度等。

现有的 CAD 软件提供了 2 种装配方法,一种是自底向上 (down-top) 的装配方法,指将全部设计好的装配组件添加到装配中并设置上述约束关系。另一种是自顶向下 (top-down) 的装配方法,主要是基于有些模型需根据实际情况来判断装配件的位置和形状,即只能通过装配完毕的组件来定位其形状位置。

本节基于上述航空发动机的三维模型,在 NX7.5 环境下,采用自底向上的装配方法,通过上述约束关系,对其六大单元体零组件(风扇及增压机、高压压气机、燃烧室、高压涡轮、低压涡轮和机械系统)进行单元体子装配与整机大装配,装配结果如图 3、图 4 所示。

上述约束关系与装配方法可满足航空发动机等复杂产品的装配设计要求。

分析提供有力依据。

2 数字样机的装配

装配是制造过程的最后环节,也是最为主要的制造环节之一^[3]。建立完各零部件后,需要根据航空发动机的约束关系进行虚拟装配,最终完成航空发动机整机数字样机的建立。下面将从轻量化模型处理,装配约束与装配检查三方面对装配过程进行阐述。

2.1 轻量化模型处理

航空发动机零部件三维模型复杂,信息量巨大,为了满足后续可视化装配的需求,必须处理冗余的数据,实现模型数据的轻量化处理。

产品信息模型中的数据包括几何信息和非几何信息^[4],但在产品装配过程中更为关注模型的形体几何信

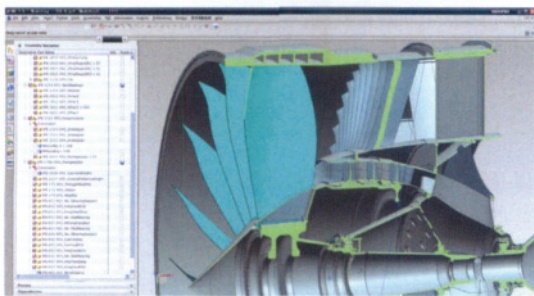


图3 风扇及增压级子装配体
Fig.3 Sub-assembly of fan and booster

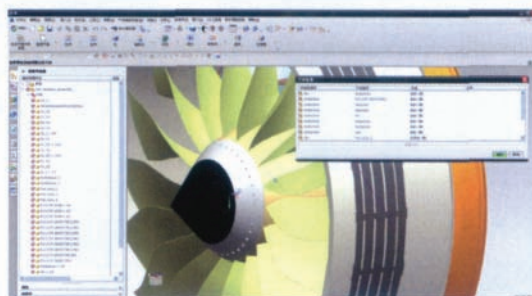


图5 风扇单元体干涉检查
Fig.5 Interference inspection of fan module

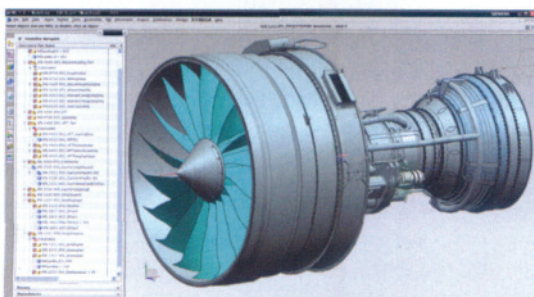


图4 整机装配
Fig.4 Whole engine assembly

2.3 装配检查

航空发动机零部件的装配关系中,存在紧度配合、过盈配合、间隙配合及过渡配合等多种配合关系,为了进一步确定上述装配关系的准确性,更好地指导航空发动机的设计工作,需要对上述建立的装配体进行干涉检查及装配间隙检查。

在 NX 环境下,干涉检查包括静态干涉检查和动态干涉检查^[5-6]。静态干涉检查主要对各个零部件的位置关系、公差配合等因素进行判断,干涉的类型可以分为不干涉、接触干涉、硬干涉、软干涉和包容干涉,其中不干涉(No Interference)是指2个对象间的距离大于间隙区域;接触干涉(Touch interference)是指2个对象相互接触但是没有干涉,这时 NX 干涉系统会给出一个表示接触干涉的点;硬干涉(Hard interference)指2个对象相交,有公共的部分,但没有完全重合,这时系统会建立一个干涉实体,可以选择以高亮形式表示;软干涉(Soft interference)是指最小距离小于间隙区域,但不接触,这时系统建立表示最小距离的一条线;包容干涉(Containment interference)指一个实体被完全包容在另一个实体之内,这时系统建立表示干涉被包容实体的拷贝;而动态干涉检验是在装配部件运动时分析其运动部件在运动空间上是否有干涉的存在。

本节在 NX7.5 环境下,对风扇及增压级单元体进行静态干涉检查,如图 5 所示,风扇叶片与垫片之间为接

触干涉,符合设计要求;风扇叶片与流道板之间为硬干涉,两部件之间有干涉体,需要对流道板部件进行修改,以满足接触干涉的设计要求。

通过上述步骤的不断重复,可以确认各个零组件与其接触部件的关系,检查其装配关系是否符合设计要求,从而指导前期的设计工作。

3 WAVE 关联参数化设计

WAVE^[7-9](What if Alternative Value Engineering, 自动推断的系统工程设计)技术为产品级的参数化设计技术,它可以在部件之间建立关联,对部件间的关联进行查询和管理。WAVE 参数关联工具包括:几何连接器、相关性管理器、零件联系浏览器、零件导航器、几何体导航器和装配结构导航工具。利用这些工具可以方便地控制相关零部件的更新、关联关系的管理和相关几何元素的创建。

为了将装配检查的结果直接反映到数字样机的设计中,建立部件间的关联关系,即在产品的装配设计中,当某个主参数改变后,产品会按照事先设定的控制结构、几何关联性和设计准则,自动更新产品系统中每一个需要改变的零部件,本节将 WAVE 技术应用到航空发动机整体叶盘的设计流程中。传统的设计流程如图 6 所示,改进后的流程如图 7 所示。

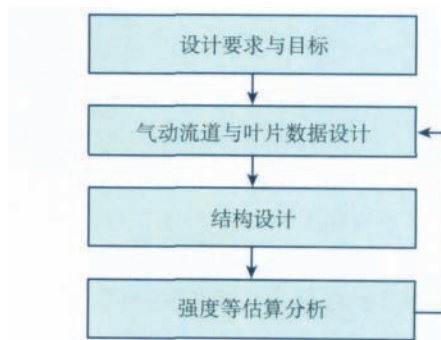


图6 整体叶盘传统设计流程
Fig.6 Conventional design process of blisk

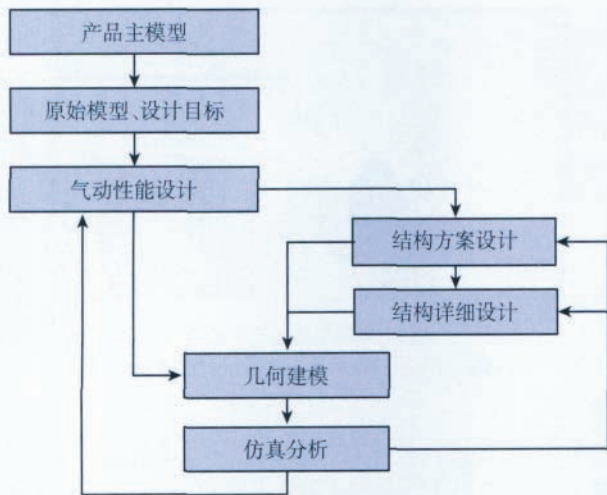


图7 改进的整体叶盘协同设计仿真流程
Fig.7 Optimized simulation process of cooperated blisk design

流程中改进的要点有:

- (1) 首先从产品主模型获取原始模型及新的设计要求和目标。
- (2) 根据设计要求和目标对原始模型进行气动性能改进设计。
- (3) 将气动性能设计获得的叶型曲面数据交给设计主模型进行几何建模和相应的仿真分析,根据分析反馈结果对气动设计数据进行修改完善。
- (4) 在气动设计结果的基础上进行结构方案设计,并将结构方案设计结果交给设计模型进行几何建模和仿真分析,以仿真分析的反馈结果进行结构方案设计的修改并进行结构详细设计。
- (5) 结构详细设计的结果同样经过设计模型进行建模和分析处理并反馈结果。
- (6) 经过若干次的设计仿真分析迭代最后产生符合设计要求的产品设计模型。
- (7) 通过 WAVE 技术,使得设计与仿真紧密结合,极大缩短了设计周期同时保证设计结果的质量。

4 结论

为研究复杂产品数字样机开发中的关键技术,本文以航空发动机为例,对其数字样机的建模、装配和关联设计方法进行了分析。

- (1) 建立了航空发动机零部件的三维模型,开发了叶片类零件三维建模方法与流程。
- (2) 通过三维的轻量化技术,对上述零组件进行了单元体子装配与整机装配,并对装配模型进行了干涉检查,从而指导三维模型的设计。
- (3) 利用 WAVE 技术对整体叶盘的设计流程进行

了改进,使得设计与仿真紧密结合,从而极大地缩短了设计周期,同时保证设计质量。

参考文献

- [1] 徐磊,陈旭,贺娜. 数字样机开发的关键技术. 重庆理工大学学报(自然科学), 2010, 24 (7): 60-65.
- [2] 南长峰,吴宝海,张定华. 复杂通道类零件五坐标加工全局干涉处理方法. 航空学报, 2010, 10 (31): 2103-2108.
- [3] 武殿梁,羊润党,马登哲. 虚拟装配环境中的装配模型表达技术研究. 计算机集成制造系统 CIMS, 2004, 10 (11): 1364-1369.
- [4] 杨磊,王启富,赵建军. 协同产品开发中的产品模型轻量化技术研究. 武汉: 华中科技大学, 2005.
- [5] 孙拂晓,刘贵军,韦庆梅. UG NX4.0 虚拟装配在产品中的应用. 硅谷, 2010 (24): 140-141.
- [6] 康文利,陈晓明. UG 二次开发技术在虚拟装配干涉检验中的应用. 机械工程与自动化, 2011 (3): 43-45.
- [7] Zhang S S, Zhang D H, Zhou Y. A method of adaptive case modification in fixture rapid design. Proceedings of the 38th International Conference on Computer and Industry Engineering, 2008(3): 2129-2131.
- [8] 肖新华,史明华,杨小凤. 基于模块化和产品实例的变型设计技术研究. 中国机械工程, 2007, 18 (7): 803-806.
- [9] Tanaka F, Kishinami T. EP-based quality diagnosis of shape data of product models for collaborative e-engineering. Computers in Industry, 2006(57): 245-260.

(责编 夏宛)

(上接第 48 页)

化柔性装配技术应用的扶持力度,督促设计与制造部门共同研究数字化制造特点,从而在设计阶段能够实现面向装配设计。双方共同研究、提出面向数字化柔性装配的结构设计要素与结构特征设计要求。规范、提高设计、制造质量和效率。

(3) 国内军民机结构组、部件整体化与模块化程度不高,不利于实现数字化柔性装配。建议统筹提高国内现有制造技术水平,逐步实现飞机的整体化、模块化设计。

(4) 配套建立、大力推行数字化建模、设计和制造工艺标准、规范,是发展数字化柔性装配技术的当务之急。建议结合我国航空工业产业布局的实际情况,加快相关标准的制订宣传与贯彻工作。

参考文献

- [1] 李原. 大飞机部件数字化柔性装配若干关键技术. 航空制造技术, 2009(14): 48-51.
- [2] 秦政琪,范振伟. 飞机薄壁组件数字化柔性装配研究. 沈阳航空工业学院学报, 2009, 3: 4-7
- [3] 秦政琪,邹爱丽. 飞机框式部件柔性装配型架的研究. 沈阳航空工业学院学报, 2010, 2: 3-5.
- [4] 秦政琪,武大伟. 基于数字化的飞机柔性装配技术研究. 沈阳航空工业学院学报, 2010, 3: 21-23.

(责编 小城)