

并行工程环境下 基于约束的叶盘结构建模与分析

北京航空航天大学 马 枚** 樊孝华 杨晓光

【摘要】 在网络工作站的集成化软件平台 UG 上, 利用复合特征建模技术对复杂零部件的实体造型能力及其特征与 STEP 标准定义实体的对应关系, 完成了支持并行工程的航空发动机整体叶盘建模系统。针对航发零部件设计跨多学科的特点, 建造了约束管理系统, 以约束网络和规则库形式协调多功能小组的活动, 保证在建模阶段即可避免后续研制中的问题。实现了 UG 和分析平台 PATRAN 的模型传递, 并以某型涡扇的整体叶盘为实例, 进行了有限元静强度及振动分析。这项工作为并行工程在航发产品中的应用提供了支持工具。

主题词: 航空发动机 特征 建立模型 有限元分析

分类号: TB 21 V 232. 3. 4

1 引 言

传统的产品开发一直采用的是顺序方法, 设计、工艺、制造分离, 几何模型各异; 各自采用不同的图形系统; 模型内部表达不协调; 数据交换标准多样; 这就需要人工多次转换模型, 不仅使研制周期长, 质量差, 还难以避免设计- 加工- 设计大返工的恶性循环。并行工程的关键是要在信息集成的基础上实现产品开发过程的功能集成和并行, 它要求组成多学科小组负责产品开发活动, 从而在设计阶段就能及早地考虑工艺、加工等后续的工程活动, 这就要求有尽量统一的模型, 以支持这些小组的协同活动。并且力求做到设计建模时就能考虑到分析、加工等要求, 使模型成为多视角的统一模型。特征建模技术的发展在更深的层次上提高了对产品模型的描述能力, 为建立多视角的统一模型提供了强有力的工具。本文在分析和总结整体叶盘结构的基础上, 利用 UG 的二次开发能力, 将整体叶盘的各个结构组分解为 UG 的参数化特征的组合并进行有效管理, 生成具有专业特色的整体叶盘特征。在建模中探讨了与 STEP 标准相转换的问题, 保证信息转换和传递时的完整性和一致性。在建模过程中加入了动态的、灵活

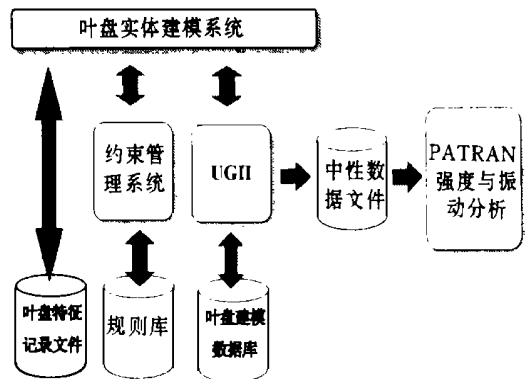


图 1 系统的框架结构

的约束检查,以便在设计时避免一些低级错误和反映下游活动的需求。

在发动机研制过程中,结构设计和强度分析属于不同的工作组,并且采用不同的计算机工具。为模仿设计环境和分析环境的差异,本系统采用 Unigraphics 作设计建模的工作平台,而用 PATRAN 作为有限元分析的平台,并且解决了由几何设计模型到有限元分析模型的传递问题。这些工作在很大程度上为并行工程在航空零部件的应用铺平了道路。

图 1 所示为系统的总体结构框图。

2 整体叶盘的三维特征建模

整体叶盘是 90 年代航空发动机的新结构,代表了航空发动机的新技术。在现代高推重比发动机中,整体叶盘一般用在风扇后级或高压压气机前几级,通过轴颈与发动机主轴相连,通过鼓筒与其它盘相连,形成发动机转子。从并行工程研究的角度来说,整体叶盘是一种十分复杂的机械产品。不仅形体描述复杂,设计所需数据量大,而且涉及多学科,设计及制造难度大。因而本文将整体叶盘选为典型产品对象进行研究。

整体叶盘的结构设计可分为叶片的设计和盘体的结构设计。叶片要根据气动要求进行叶型设计,再进行叶型积叠生成。而盘体的结构则比较灵活和多样化:叶身结构设计结果,转子结构的支承情况,盘间的连接和装配形式都对盘体有很大的影响。

2.1 整体叶盘特征分析

整体叶盘上的各种结构统称为叶盘特征。由于叶盘去掉了榫头,因而叶盘特征只包括叶片特征和盘体特征。叶片特征的几何表达虽然复杂,但其结构特征却较单纯。盘体则要考虑到轮盘和轴、前后级盘之间的连接方式和连接位置,封严和装配形式等,因而结构形式多种多样。

但大多数整体叶盘盘体都有一个性质相同的由轮缘、辐板和轮毂组成的剖面形状,将此形状的盘称之为基盘。单从设计的角度分析,可以认为整体叶盘上的其它结构是“添加”到基盘上去的。这些与具体功能相关的结构特征可能有突缘、鼓筒、轴颈、安装边、均布孔或安装孔、环槽及篦齿等。系统中共概括了八种叶盘特征:基盘、叶片、鼓筒、轴颈、突缘、安装边、均布孔和环槽,如图 2 所示。从它们之间的相互关系上又可分为三类:基盘、第一类叶盘特征和第二类叶盘特征。第一类是必须“生长”在基盘上的特征,它们与基盘一起决定叶盘的主体形状,包括鼓筒、轴颈和突缘。而第二类特征则是附加的细微结构,既可依附于基盘上,也可依附于第一类特征上。

每种叶盘特征又可分为一些子类,以进一步明确其特性。例如,鼓筒可细分为前、后鼓筒(位置分类)或圆柱形、锥形鼓筒(形状分类)。图 3 概括了本系统所采用的分类方法。

每个叶盘特征都不可能再细分。从建模方法上讲每个特征又是由一些比较规则的体素(如

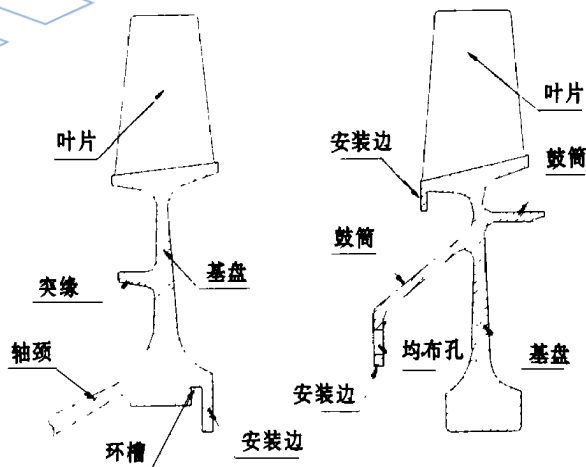


图 2 叶盘特征示意图

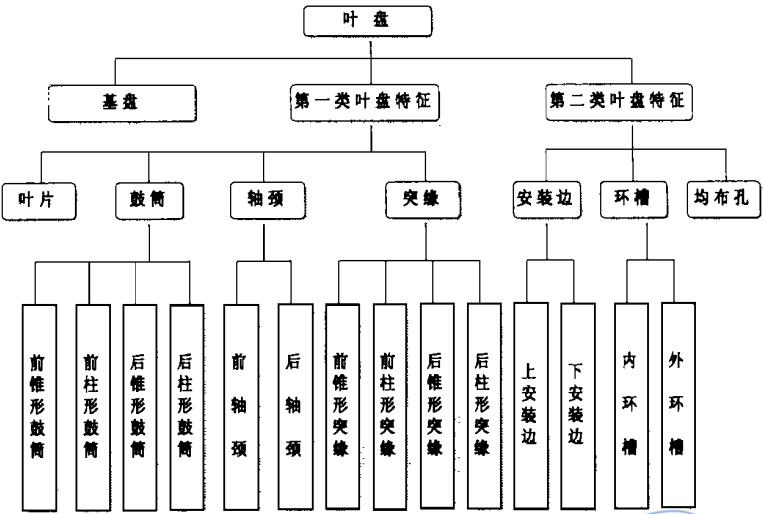


图 3 叶盘特征的分类

圆柱、圆锥)特征通过布尔运算生成,每个体素特征其实暗示了制造等方面的信息,便于转化为 STEP 文件。为了便于UG/STEP 转换,尽量采用与STEP 实体相对应的UG 实体类型来构造这些叶盘特征。

2.2 整体叶盘特征建模系统的结构

整体叶盘特征建模系统的结构如图 4 所示。它分为界面功能选择、特征管理核心、约束网络接口和MOTIF 界面支持四个部分。

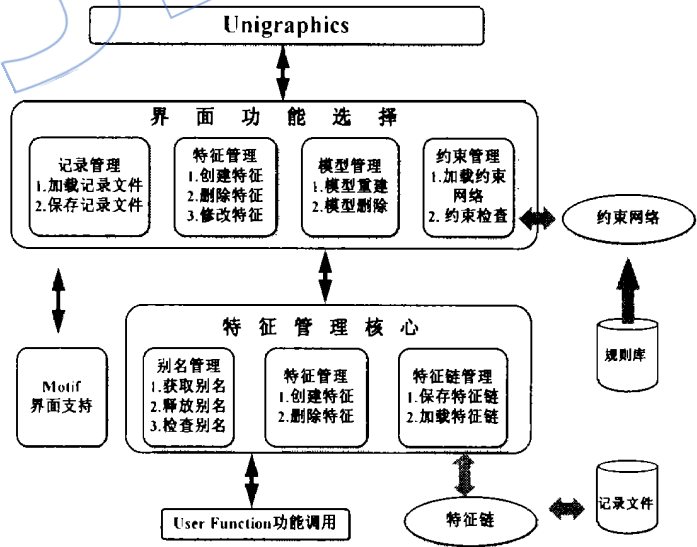


图 4 整体叶盘建模系统结构图

整个建模系统是在 U n i g r a p h i c s 之上的更高一层的管理系统, 因此, 所有的叶盘特征可看成是一种更高级的具有专业特色的“复合特征”。

建模系统既与 U n i g r a p h i c s 相衔接, 又与约束管理系统相融合, 并具有便于专业人员操作的用户界面。

2.3 基盘和叶片的特征建模

基盘在所有的叶盘特征中结构最复杂, 也是整体叶盘特征建模的基础, 其它的特征都直接或间接地依附在基盘上, 与轮盘上的其它特征相比, 基盘的建模应尽量保持其几何含义, 以便使用 STEP 转换时能将其含义正确传出。建模时应尽量使用与加工、制造意义相近的特征。可先创建一个圆锥实体, 接着使用旋转扫描方法生成左右两个辅助实体, 从圆锥中减去后形成辐板, 最后再减去一个圆柱体形成中心孔。

另外, 工程制图中的轮盘尺寸表示并不适宜于 U G 的直接建模。因此, 必须有一个接口将用户输入的几何信息转换为建模系统所需的尺寸, 亦即基盘数据结构中的尺寸。转换的主要工作是利用用户输入尺寸求出 10 个控制点的坐标值如图 5 所示。

本系统采用曲面缝合的方法来构造叶片实体。为此, 将叶片的表面区分为顶面、底面和叶身。先以型值点坐标生成各型面曲线, 进而生成叶身、顶面及底面。

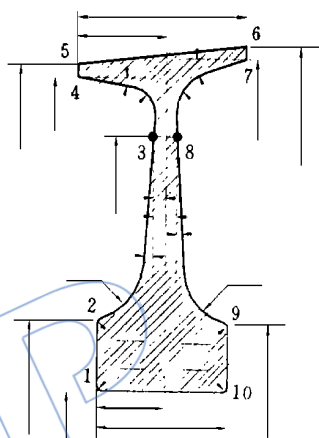


图 5 用户面对的基盘几何参数

3 建模与有限元分析用的实体模型的转换

直接将叶盘实体模型进行有限元自动分网会遇到很多困难, 首先是众多过小的圆角将使分网时间急剧增长, 而且可能导致分网失败; 其次几十个叶片也要占很多处理时间。

因此在分网前应对模型进行一些处理, 即保留第一类叶盘特征与基盘之间较大的转接过渡圆角, 而丢弃第二类特征的半径很小的圆角, 基盘中轮毂部分倒圆半径也可去掉。对整体叶盘中可能会出现过小的台阶(例如添加安装边时)也要做适当处理。

本系统提供了两种分网模型, 即整体和扇形段模型, 整体模型的好处是允许有非旋转叶盘特征(如均布孔), 并可保留绝大部分实体信息将其直接传递至分析软件。

4 整体叶盘实例的建模与分析

选择某双转子低涵道比涡扇发动机的高压压气机首级整体叶盘作为本系统的实例如图 2 中左图所示。叶片数为 37 片。可以看出, 此整体叶盘由基盘、突缘、内环槽、安装边、叶片、均布孔共六种叶盘特征构成。如果生成的叶盘特征不满意, 可从控制面板中选取编辑特征来修改并更新, 直至满意为止。

每次添加或修改特征, 系统会启动约束检查, 如果系统认为有不合理之处, 便弹出一信息框, 指出错误之处。用户必须修改叶盘特征参数, 直至约束系统认为合理为止。

在理想的并行环境中, 设计、分析及后续的制造等工作应该有一个基于 STEP 标准的统一的产品数据模型, 以解决多任务之间模型的顺畅传递。但目前版本的 P A T R A N 还不能做到这一点。本系统采用了在 P A T R A N 中直接读取 U G 几何核心 P A R A S O L I D 格式数据的方法,

完成 CAD 模型向分析模型转换的问题。最后在分析平台 PATRAN 上生成有限元网格模型, 完成离心载荷、气动力载荷的加载和边界条件添加, 采用 MSC/NASTRAN 进行分析。

图 6 为整体叶盘的整体网格模型, 共计 19016 个线性单元和 6797 个节点。

整体叶盘的设计转速为 14440 转/分, 整体处于 250°C 均温状态。材料为 TC11 钛合金。

对整体叶盘分网模型进行计算, 所得各项应力指标都满足了规范要求。

仍然采用图 6 的整体有限元网格模型, 计算了整体叶盘在非旋转状态下自由振动的前 5 阶振动频率和振型。

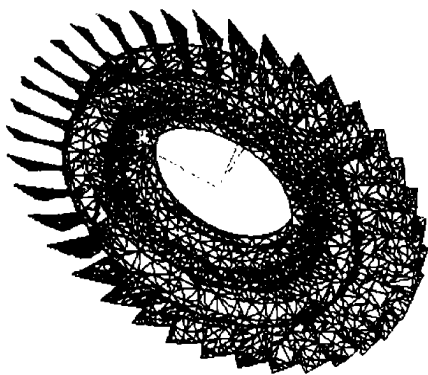


图 6 叶盘的整体分网模型

5 结 论

本文在 UG 建模和 PATRAN 分析软件平台上, 借助先进的参数化复合特征建模技术, 初步完成了一个航发整体叶盘的三维特征建模工具, 在一定程度上实现了整体叶盘模型与 STEP 标准的转换, 并顺利地实现了两种平台之间模型的传递, 成功地完成了有限元结构静强度和振动分析。此系统还带有一个约束管理系统^[4]。通过接口, 系统能够动态地维护一个基于整体叶盘结构的约束网络, 能模拟多功能小组协同工作, 防止后续工作中可能出现的问题, 保证设计一次成功。这些工作为并行工程在航发产品中的应用提供了支持工具。对推广并行工程具有重要的现实意义。

参 考 文 献

- 1 Hauhua Lee, Sanjang Goel, Siu S Tong. Toward Modeling the Concurrent Design of Engineering Turbines, International Gas Turbine and Aero-engine Congress and Exposition, May 24- 27, 1993
- 2 M. Hashemian, P. Gu. A Constraint-Based System for Product Design, Concurrent Engineering: Research Applications Volume 3, September 1995
- 3 倪靖凯. 基于并行工程的航空发动机叶盘结构特征设计与分析研究. [硕士学位论文] 北京航空航天大学, 1995
- 4 段海波, 樊孝华, 马枚, 杨晓光. 支持并行工程的航发叶盘约束管理系统. 航空动力学报, 1998, 13(4): 418- 420

(责任编辑 王震华)

port system.

Key Words Oil film Damper Elastic support Vibration damping Mechanism

EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND APPLICATION OF AN ELASTIC RING SQUEEZE FILM DAMPER

Zhou Min, Li Qihan, Yan Litang

(4th Dept Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

ABSTRACT An experimental investigation on a model of rotor support system with Elastic Ring Squeeze Film Damper (ERSFD) was completed in the case of supplying oil for the squeeze oil film damping during rotor system operation. The dynamic characteristic experiments including vibration damping and frequency retuning characteristics of the model of rotor support system with EQSFD were conducted. It is proved true that the ERSFD possesses very good properties for both vibration damping and frequency retuning. At last, the ERSFD has been used successfully in the rotor system of a given core aero-engine. It is indicated that the ERSFD can adjust the critical speeds of the rotor system to meet the demands of engine operation and control the vibration of whole core engine very well.

Key Words Oil film Damper Elastic supports Frequency retuning
Vibration damping

CONSTRAINT-BASED STRUCTURAL MODELING AND ANALYSIS OF AEROENGINE BLISK IN CONCURRENT ENGINEERING ENVIRONMENT

Ma Mei, Fan Xiaohua, Yang Xiaoguang

(4th Dept Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

ABSTRACT A solid modeling system for aeroengine blisk in the concurrent engineering environment is developed on the platform of the integrated CAD/CAE/CAM Software- Unigraphics of network station, by using the capability for solid modeling of sophisticated components with advanced hybrid feature modeling technology and corresponding features in UG and STEP according to entity definition. A general constraint management system is established to meet the needs of multidisciplinary teams for designing the components of the engine. It coordinates the real activities of multidisciplinary teams to check all design parameters dynamically by constructing a constraint network and user defined rule-based knowledge base, and takes the follow-up operations into account in the designing stage. The data exchange between geometric model and FEA from UG to PATRAN is performed successfully. As an example, a blisk of a given turbofan engine is employed for modeling, and its static stress and modal analyses have been completed with satisfied results. So this work provides a supporting tool for application of concurrent engineering to designing the components of an aeroengine.

Key Words Aircraft engines Feature Modeling Finite element analysis