

基于 UG 的涡扇发动机风扇叶片 变形分析方法研究

赖晓琪, 郝艳华, 黄致建

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 厦门 361021)

摘要:基于 UG 二次开发工具 UG/OPEN API 和 NX OPEN C ++ 以及 C 编程语言的二次开发功能, 结合 VS 2008 平台对涡扇发动机风扇叶片结构进行叶片模型、有限元模型和仿真模型的参数化创建, 同时研究叶身中弧面厚度信息的提取问题. 将提取的厚度信息加载到壳单元网格上, 使其具有实体特性, 利用该单元对叶片进行网格划分, 并进行求解分析, 对比实体单元网格分析结果. 仿真结果表明, 在相同的计算模型下, 实体壳单元能够减少计算时占用内存的 24.65% 和计算时间的 45.97%, 提高计算效率, 减少计算周期.

关键词:UG 二次开发; 参数化建模; 涡扇发动机风扇叶片; 中弧面模型; 实体壳模型

中图分类号:V232.4 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2014.05.021

Study on simulation analysis method of turbafan engine fan blade on UG

LAI Xiao-qi, HAO Yan-hua, HUANG Zhi-jian

(College of Mechanical & Automation, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: By the UG secondary development tools UG/OPEN API and NX OPEN C ++, and the integrated use of the C programming language, fan blade model, finite element model, simulation were created model parameterization on VS2008 platform. The measure of acquiring the information about the fan blade thickness information was also studied. The shell thickness of unit was loaded to mak it a solid shell element with physical properties. Solid shell element was used to mesh the fan blade in simulation analysis. Under the same calculation model, compared solid element and solid shell element analysis results, the solid shell element could effectively reduce computing scale(24.65%) and calculation time(45.97%) so it improved the computing efficiency, and reduced the computing time.

Key words: UG secondary development; parametric modeling; turbafan engine fan blade; central arced surface model; solid model

0 引言

在涡轮风扇发动机(简称涡扇发动机)中, 风扇

通常位于发动机进气道与压气机之间, 其功能与压气机类似, 即对流过的空气进行压缩增压^[1]. 涡轮风扇能为涡扇发动机提供 80% 的外涵推力, 风扇转

收稿日期:2014-02-19

作者简介:赖晓琪(1988—),女,福建省漳州市人,华侨大学硕士研究生,主要研究方向为计算机辅助设计与工程(CAD/CAE).

通信作者:郝艳华(1956—),女,辽宁省沈阳市人,华侨大学研究员,主要研究方向为计算机辅助设计与工程(CAD/CAE)、工程辅助设计.

速要求达到3 000~4 000 r/min,通过风扇的空气流量达到10 000 kg/s以上^[2],风扇性能好坏直接影响发动机性能的优劣.在风扇中,风扇叶片是重要的部件之一,其结构是高度复杂的一种曲面实体,结构参数多且参数之间相互作用及牵制.长期以来,国内外很多学者对叶片结构设计方法进行了深入研究.目前,叶片的参数化建模方法已经相当成熟,这为研究发动机风扇叶片造型、仿真、优化等提供了很好的基础.王春霞等^[3]根据叶片原始离散点,基于UG NX平台对数据进行前处理,生成各个截面的二维B样条曲线,然后采用双三次B样条拟合方式建立叶片空间型面.也有学者基于不同软件平台对叶片进行结构参数设计,胡光中^[4]在Solid works基础上提出了叶片参数化设计系统研究方法.在中弧面参数化建模方面也有一定的研究,张力宁等^[5]提出的中弧线创建方法区别于以往离散搜索方法,将中弧线提取问题转化为求等距线自交点的问题.本文拟运用等距线方法获得叶片中弧线并创建中弧面模型,同时,利用中弧线提取思路获取叶片的厚度信息,根据所提取的厚度文件进行2D单元厚度加载,以期实现实体壳单元分析叶片变形的分析.

1 涡扇发动机风扇叶片参数化建模

叶片模型包括叶身和榫头2个部分,本文主要分析不同网格单元类型对叶片变形结果和计算效率的影响.本文中,榫头部分对分析没有影响,所以其参数化建模过程在此不进行研究.基于UG软件的二次开发工具UG/OPEN API,在VS 2008软件平台上构建叶片的参数化模型^[6-7].

1.1 涡扇发动机风扇叶片叶身参数化建模

在叶身截面设计中,叶身外型共选取8个截面线,在叶片不大的情况下也可取5个截面进行研究^[8].利用C语言标准的I/O库函数读取截面数据.对每个截面的叶盆数据进行反向存储,通过UF函数创建每个截面型线,把型线数据进行顺序存储形成封闭的曲线数据;然后根据点的坐标生成截面循环线,访问每段曲线的起始和结束参数,将每段曲线进行细分割,并将分割后的曲线分割点坐标、斜率等属性进行存储;再根据这些数据按照切线和斜率生成最终的叶身截面型线的B样条曲线.通过这8个截面型线创建未修建的叶身实体,根据结构要求创建适当的回转弧面进行修剪成型.

1.2 涡扇发动机风扇叶片叶身中弧面参数化建模

生成中弧线的方法有多种,包括离散法和等距

线法^[8],本文采用的是等距线中弧线法.如图1所示,偏置叶盆截面线和叶背截面线,判断是否有交点,当有第1个交点时,储存偏置距离 t_1 ,继续偏置,直到最后一次出现交点,储存偏置距离 t_2 ,则有效偏置距离 $t=t_2-t_1$.在有效偏置距离内2条偏置曲线均有交点,可设置每个叠加步长为 $(t_1+t)/n$,其中 n 为叠加步数,取值越大,可获得的交点越多,交点之间的距离越小,但计算时长增加; n 的取值过小,交点数太少,则会影响生成的中弧线的准确性,综合考虑,该处取 $n=60$.通过获得的交点生成中弧线的样条曲线,然后均分曲线,将获得的点的坐标储存在文本文档中,生成中弧线数据文档.在其他程序中只需要读入该数据文档即可获得叶身中弧线数据,根据数据生成相应的中弧面模型,以进行后续的研究工作.

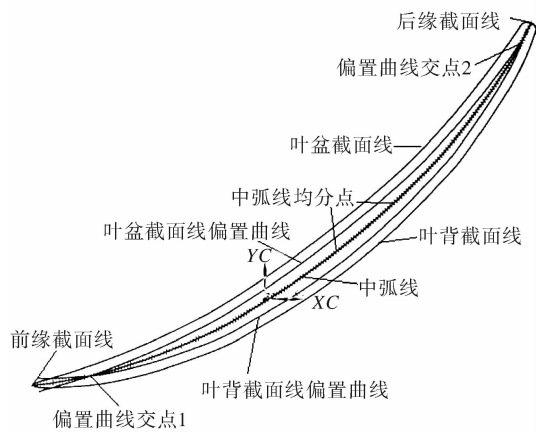


图1 单个截面中弧线创建

1.3 涡扇发动机风扇叶片中弧线厚度获取

采用实体壳单元代替实体单元进行叶片的仿真分析,在进行分析之前必须先提取叶片相应的厚度信息,可以根据偏置截面线的方法获取叶片的厚度值(见图2).根据中弧线生成原理,通过UF的曲线偏置函数,确定截面线的有效偏置范围 t ,第1个交点时偏置距离 t_1 ,然后,叶背截面线和叶身截面线分别偏置 t_1+t/m ,其中 m 为偏置曲线的个数,取值范围为 $60 < m < 100$.由偏置叶身截面线和叶背截面线得到2条偏置线的相交点 A ,然后以 A 为圆心,偏置距离 (t_1+t/m) 为半径作圆,该圆与2个截面线相切于 B, C 2点,作一直线 BC ,交中弧线于 D ,通过函数获取 D, B, C 3点坐标,以此得到 BC 的模长,则 D 点坐标处的厚度值为 BC 的模长,以此类推,得到中弧线上若干点的厚度值.最后,将厚度值以文本文档方式储存起来,用于后续的有限元模型创建及

其分析.

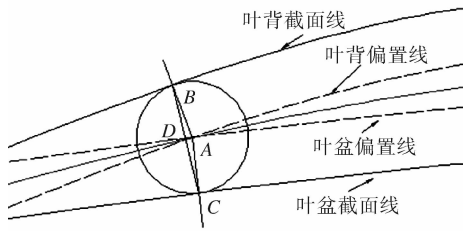


图 2 截面厚度获取示意图

2 涡扇发动机风扇叶片参数化有限元建模

涡扇发动机风扇叶片有限元模型参数化模型是采用 UG/OPEN API 和 NX OPEN C++2 种语言结合创建的. 在进行模型求解之前先定义相关属性, 主要包括材料、网格、约束、载荷等.

2.1 材料参数设定

涡扇发动机风扇叶片材料包括钛合金、复合材料等, 例如 GE 公司的 GE90-115B 发动机风扇叶片采用的是碳纤维加强高韧性环氧树脂复合材料^[10]. 本文所采用的叶片模型是宽弦实心大叶片, 材料拟选定为钛合金 (Titanium_Ti-6Al-4V), 该材料基本属性如下: 屈服强度 805 MPa, 密度 $4.43 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 弹性模量 $E = 1.21 \times 10^5 \text{ MPa}$, 泊松比 $\nu = 0.34$.

2.2 网格划分

本文中有限元模型选取叶身部分进行分析, 在网格划分部分采用 2D 网格单元. 先通过 Selection() 函数找出 cAEBody 的边 cAEEdge, 再对对应的边进行网格控制: 叶片上下端边长网格控制数为 30, 前后缘两侧边长网格控制数为 60. 通过 2D 映射生成八节点等参四边形单元 (CQUAD8) 网格. 网格生成后需要添加网格的节点厚度信息, 即在网格相关联的数据中添加厚度字段文档, 所有的厚度以 Delaunay 三角剖分插值法添加到对应的 2D 网格节点上.

2.3 边界条件和载荷施加

涡扇发动机风扇叶片的边界条件为加载在榫头两侧的法向方向约束, 主要与榫槽配合, 榫头一端 X 方向的固定约束, 主要与轮盘配合. 本文主要研究不同网格单元对分析结果和分析效率的影响, 所以将模型简化为叶身模型, 边界条件简化为对叶身下端面的固定约束. 叶身的载荷包括离心载荷和气动力载荷 2 个部分. 以转速形式施加离心载荷, 转

速设置为 4 000 r/min, 方向为发动机轴线方向. 气动力分为叶盆气动力和叶背气动力, 利用 UG 的空间分布压力载荷加载方式将气动力数据施加在叶身、叶背和叶盆曲面上, 该气动力以 Delaunay 三角剖分插值法施加到叶身曲面上.

3 结果分析

采用 ADVNL 601,129 解算方案对叶片进行非线性分析, 得到中弧面叶身的位移云图 (见图 3). 由图 3 可知, 叶身的最大位移为 5.859 mm. 对比采用实体单元进行分析的位移云图 (见图 4), 两者的位移云图基本保持一致, 实体单元分析结果的最大位移为 5.864 mm, 两者相差 0.005 mm.

取实体叶身上端面中弧线位置的变形值与中弧面叶身同一位置的变形值进行分析, 如图 5 所示, 两者的变化趋势基本是保持一致的, 都具有一定的

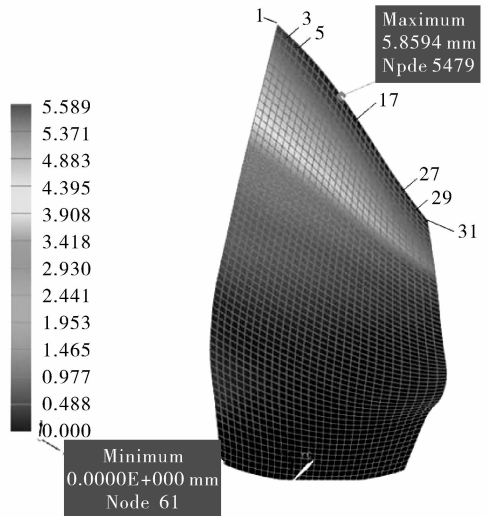


图 3 中弧面叶身位移云图

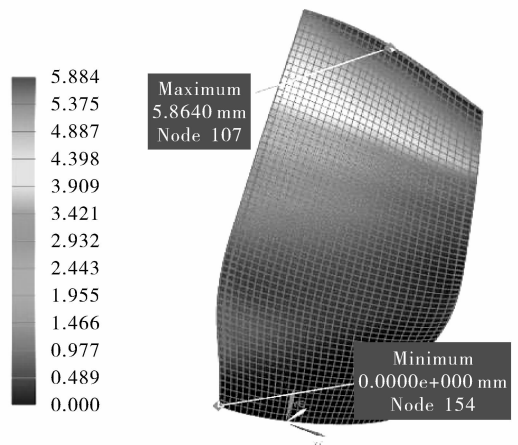


图 4 实体叶身位移云图

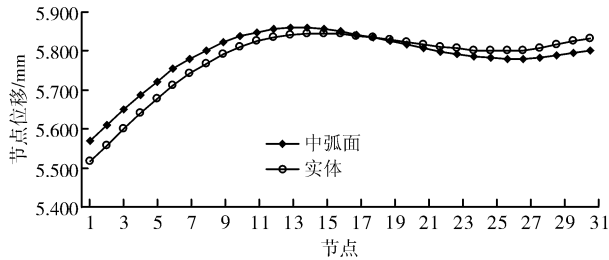


图5 2种方法所得变形值比较

扭转角度.在中弧面分析中,扭转的角度会比实体的小,这差值跟厚度数据的获取方法相关联,在获取厚度数值时,前后缘厚度值的起始点为圆弧中心,这样插值分布之后,叶片前后缘两侧的厚度会比实体叶片的大,这个误差可以从厚度获取的过程进行控制.

提取若干节点的位移进行分析,如表1所示, $\delta_{实}$ 为实体单元网格变形分析结果, $\delta_{中}$ 为实体壳单元网格变形分析结果, Δ 为两者之间的差值比,公式为 $\Delta = (\delta_{中} - \delta_{实}) / \delta_{实}$.如图3所示,1,3,5这3点为靠近前缘的点,17为扭转中心的点,27,29,31为靠近后缘的点.从表1可以看出,前后缘最大差值出现在前缘处,值为0.053 mm,2种分析方法所得到的结果差值最大比例为0.96%,在1%的误差范围以内,故可用该方法进行叶片的有限元分析.

表1 前后缘部分节点位移值数据表

节点号	$\delta_{实}/mm$	$\delta_{中}/mm$	$\Delta/\%$
1	5.518	5.571	0.96
3	5.559	5.611	0.94
5	5.601	5.650	0.87
17	5.835	5.836	0.02
27	5.816	5.788	0.48
29	5.825	5.795	0.51
31	5.833	5.802	0.53

表2 2种方法分析结果对比表

模型	单元数	节点数	占用内存/MB	耗时/s
实体模型	1 800	13 054	163.6	12.21
中弧面模型	1 800	5 582	88.4	9.20
差值比例/%	0	57.24	45.97	24.65

在采用实体单元分析的时候,前后缘网格控制数为1,所以,实体模型的单元数目与中弧面模型相一致.从表2中可以看出,两者的节点数目相差了7 472个节点,比实体模型节点数下降了57.24%,占用内存相差75.2 MB,下降了45.97%,分析时间相差3.01 s,减少了24.65%.在保证其分析结果合理

性的前提下,采用中弧面模型能有效地缩短计算时间和分析过程中所损耗的计算机内存.本文研究对象的叶片厚度相对比较小,网格数目不大,所以计算时间不长,如果采用厚度较大的模型,将网格划分得更细致,那么,采用中弧面模型进行分析能够在减少模型的单元数目基础上,更多地减少计算时间和占用内存.

4 结论

本文基于UG NX 7.5软件的二次开发工具UG/OPEN API和C/C++语言,在VS 2008平台上,对某航空涡轮风扇发动机宽弦风扇叶片结构进行叶片模型、有限元模型和仿真模型参数化创建,并在网格划分中分别采用实体模型中的实体单元和中弧面模型中的实体壳单元2种不同网格单元对叶片进行仿真分析,分别得出叶片的位移变化云图,两者在仿真过程中所占有的内存、分析时所用的时间等.结果表明,在保证结果一致性(位移误差小于1%)的前提下,采用中弧面模型中的2D实体壳单元所需的时间和内存分别为9.20 s和88.4 M,相比实体模型中的实体单元分析的12.21 s及163.6 M,计算效率提高了45.97%,内存减少了24.65%.这为后续更为复杂的曲面实体分析提供了新的变形分析方法.

参考文献:

- [1] 楚武利.航空叶片机原理[M].西安:西北工业大学出版社,2009:71.
- [2] 佟淑兰.罗-罗公司的宽弦风扇叶片[J].国际航空,1994,9:50.
- [3] 王春霞,赵保军.基于UG NX的航空发动机叶片造型方法研究[J].机床与液压,2005,12:27.
- [4] 胡光中.基于Solid works的叶片参数化设计系统开发[J].机械设计与制造,2004(1):28.
- [5] 张力宁,张定华.基于等距线的叶片截面中弧线算法[J].机械设计,2006,23(5):39.
- [6] 莫荣,常智勇.图表详解UG NX二次开发[M].北京:电子工业出版社,2008:33-121.
- [7] 侯永涛,丁向阳.UG/OPEN二次开发与实例精解[M].北京:化学工业出版社,2007:115-141.
- [8] 宋玉旺,席平.基于特征造型技术的涡轮叶片参数化设计[J].北京航空航天大学学报,2004,3(4):321.
- [9] 刘金刚,卜昆.基于中弧线的空心涡轮叶片壁厚计算方法研究[J].中国机械工程,2012(5):1025.
- [10] 李杰.GE公司复合材料风扇叶片的发展与工艺[J].航空发动机,2008,34(4):54.