

文章编号: 1000-5013(2012)04-0370-05

# 涡轮叶片参数化结构设计平台的开发

黄明, 黄致建, 郝艳华

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 针对航空发动机涡轮叶片的结构特点, 提出一种 UG(Unigraphics NX)混合参数化建模生成涡轮叶片的方法. 利用 UG 提供的 4 种二次开发工具及 VC++ 程序设计语言, 在 UG 环境下, 完成涡轮叶片参数化结构设计平台的开发, 并给出应用实例.

**关键词:** 涡轮; 叶片; Unigraphics NX; 二次开发工具; 参数化; VC++

**中图分类号:** V 232.4

**文献标志码:** A

涡轮工作叶片是航空发动机的重要零部件之一, 其作用是把高温燃气的能量转变为转子机械功, 涡轮工作叶片是决定发动机寿命的主要零件之一<sup>[1]</sup>. 所以, 对涡轮叶片进行强度和寿命分析及结构优化非常必要. 分析及优化的过程涉及到涡轮叶片模型尺寸的更新及修改, 若采用传统建模方法, 每个尺寸单独建模会占用大量的工作时间, 效率低下, 满足不了结构优化设计的要求. 为方便后续的分析及优化过程, 建立一个精确的有限元参数化模型是必不可少的. 参数化模型使产品具有了尺寸驱动的能力, 方便修改. 目前, 国际上使用比较广泛的 CAD 软件如 Solidworks, Unigraphics NX, Pro/e 等都具有参数化建模的能力. 其中, Unigraphics NX(UG)在航空航天、汽车、机械、家电等领域应用的十分广泛. Unigraphics NX 具有完善的三维参数化设计功能, 提供了 UG/OPEN GRIP 和 UG/OPEN API 程序开发模块, 以及 UG/OPEN MenuScrip 和 UG/OPEN UIStyler 两个辅助开发模块等 4 个功能强大的二次开发模块<sup>[2]</sup>. 它们都拥有良好的高级语言接口, 使得 UG 的造型功能和设计功能结合起来, 方便开发个性化的参数化设计系统. 本文采用 UG/OPEN MenuScrip 和 UG/OPEN UIStyler 模块制作可视化的 UG 风格的涡轮叶片参数化建模对话框, 利用 UG/OPEN API 完成涡轮叶片模型的参数化建模.

## 1 Unigraphics NX 参数化设计基本思想

目前, 通过 Unigraphics NX 提供的二次开发工具, 可以采用变量表达式及编程技术等两种方法实现模型的参数化设计.

### 1.1 设计变量表达式

该方法采用三维模型与程序控制相结合的方式, 三维模型通过 Unigraphics NX 的交互界面创建. 在创建好的三维模型基础上, 根据部件的设计要求, 建立一组可以完全控制三维模型形状和大小的设计参数. 参数化程序对该部件的设计参数进行编程, 实现设计参数的查询、修改, 并根据新的参数值更新模型从而实现设计变更. 它大部分应用于形状规整的零件构建<sup>[3-5]</sup>, 但缺点是对于模型的某些非固定尺寸, 使用设计参数无法控制三维模型形状.

### 1.2 编程技术

UG 软件拥有良好高级语言接口, 可利用 UG/OPEN API 二次开发工具和 C 语言实现模型的参数化设计, 其各种形状和大小的更改均由二次开发程序实现. 整个三维模型均可由程序驱动, 几乎可以实现 Unigraphics NX 中所有的功能, 多用于复杂形体构建<sup>[6-7]</sup>, 但其缺点是编程工作量大.

收稿日期: 2011-12-09

通信作者: 郝艳华(1962-), 女, 研究员, 主要从事工程机械计算机辅助设计的研究. E-mail: haoyh@hqu.edu.cn.

基金项目: 企事业单位委培项目(2010—2012 年度))

## 2 涡轮叶片参数化建模

### 2.1 建模分析

涡轮叶片由叶冠、叶身、下缘板、伸根和榫头等 5 大几何特征组成,如图 1 所示. 其中:叶冠、下缘板、伸根和榫头的三维实体均可由形状固定的二维截面沿一根导引线运动扫描得到,而叶身实体建模则需要从型值点坐标文件中读取其叶盆截面线、叶背截面线、前缘和后缘的点云数据.

如果采用完全程序控制的方法来完成涡轮叶片的参数化设计,叶冠、下缘板、伸根、榫头部分虽然形状规整,但是包含大量的尺寸及几何特征,需要浪费大量的设计时间进行程序编制,拉长了设计周期,效率低下. 如果采用基于三维模板的方式进行参数化建模,叶身部分由不同截面扫描而成,每个截面又是根据读入的型值点数据按 NURBS 样条构造的,涉及生成 NURBS 样条及保证截面线连接点处光滑等关键问题,三维模板无法解决.

因此,必须选用新的技术来实现涡轮叶片参数化建模,以缩短研制周期、降低成本及提高产品质量. 对于叶冠、下缘板、伸根、榫头等形状规整的部分,在完全由设计变量控制的三维模型模板的基础上,由程序控制其设计参数的修改,从而实现模型的不断更新;对于叶身部分,则采用 UG/OPEN API 二次开发工具和 C 语言相结合的方式,由程序程序控制实现叶身建模. 最后,利用程序控制涡轮叶片不同几何特征求和,生成一个完整的涡轮叶片模型.

### 2.2 叶冠等部分的参数化设计

1) 根据叶冠等各部分特征,在 UG 建模环境下,创建可由设计参数完全驱动的叶冠等几何模型模板,并由表达式将设计参数关联起来,表达式包含了所有基本的设计意图.

2) 通过 UG/OPEN MenuScrip 定制用户菜单,点开涡轮叶片结构参数化平台按钮,将现用于调用生成叶冠等部分的对话框,如图 2 所示. 其部分程序语句如下:

```
BEFORE UG_HELP /* 开始定义 */
LABEL 涡轮叶片
END_OF_BEFORE /* 结束定义 */
:
LABRL 涡轮叶片结构参数化设计平台
:
END_OF_MENU
```

3) 通过 UG/OPEN UIStyler 定制查询修改表达式的对话框,有叶冠、叶身、下缘板、伸根、榫头,以及涡轮叶片俯视转角等 6 个对话框. 以图 3 所示的叶冠对话框为例进行介绍,鉴于篇幅有限,其它不一一赘述. 图 3 中数字框里为所需输入的数据,通过输入所需要的数据,可即时生成叶冠模型.

4) 以 C 语言与 UG/OPEN API 相结合的方式,在 VC++ 6.0 编程平台上,开发查询、显示、更新表达式参数值及显示更新模型的功能. 其中,部分程序开发语句如下:

```
UF_MODL_eval_exp(); /* 根据对话框表达式的名称获取其值 */
UF_STYLER_ask_value(); /* 可由对话框输入所需要的设计变量值 */
UF_MODL_edit_exp(); /* 根据输入的设计变量值修改表达式 */
UF_MODL_update(); /* 通过新的表达式重新生成模型 */
```

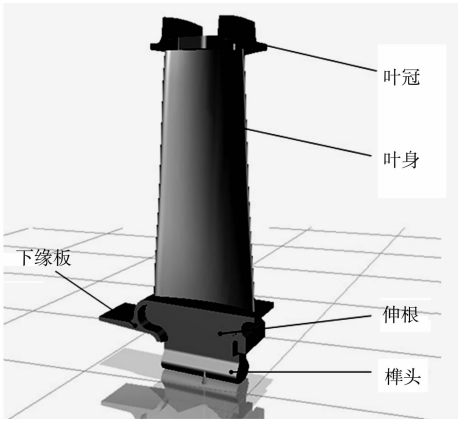


图 1 带冠涡轮叶片模型  
Fig. 1 Shrouded turbine blade model

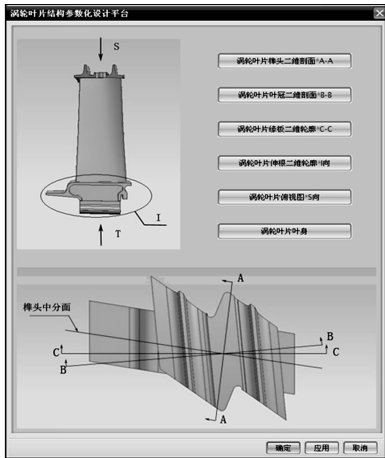


图 2 涡轮叶片参数化设计平台  
Fig. 2 Parametric design platform of the turbine blade

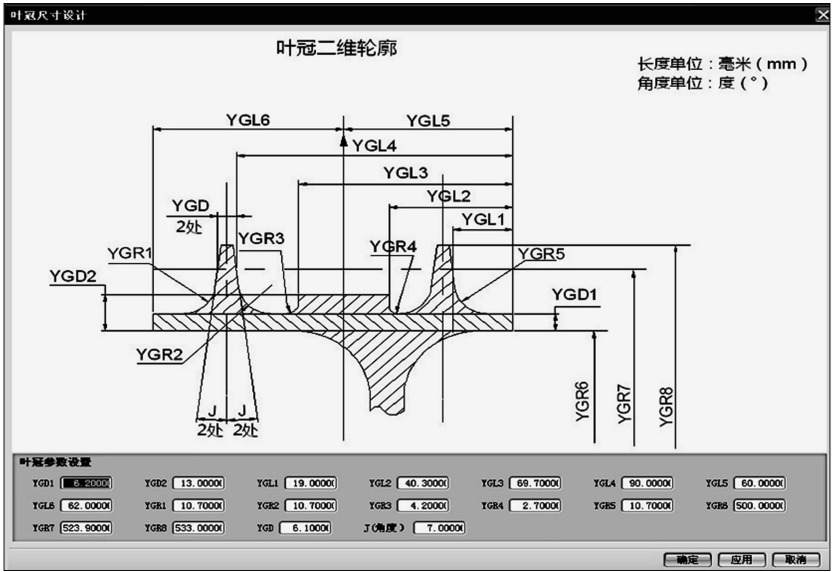


图 3 叶冠二维轮廓参数设置对话框

Fig. 3 Two-dimensional contour parameter setting dialog box of the shroud

2.3 叶身的参数化设计

叶身部分在径向、轴向都有扭曲,而且进气边与排气边的变化十分剧烈,且叶身实体是由一组复杂曲面构成,故对其表面质量有很高的要求. 为了获得良好的后续分析及优化结果,一个理想的叶身模型是不可缺少的<sup>[8]</sup>.

在 UG 中,样条曲线都是用非均匀有理 B 样条 NURBS 表示的,它能够将二次圆锥曲线和自由曲线统一起来,并且给用户提供了更多的控制调整曲线形状的能力. 相比传统的网格建模方式能更好的控制物体表面的曲线度,从而创建出更逼真、生动的模型,叶片截面造型由获取的型值点数据构造. 它分为叶盆、叶背、前缘圆弧、后缘圆弧 4 个部分,如图 4 所示.

截面造型的要求是构造由 4 条曲线光滑连接的封闭曲线. 采用如下构造方法,可以保证在 4 条曲线连接的地方依然保持光滑连续.

- 1) 在前缘及后缘圆弧处获取关键点,如图 5 所示.
- 2) 通过关键点及叶盆、叶背数据点构造一条完整的叶身截面线,并通过函数提取这个叶身截面线上关键的构造数据,如曲率半径、斜率等,如图 6 所示.
- 3) 通过叶盆、叶背上的端点及前后缘关键点提取

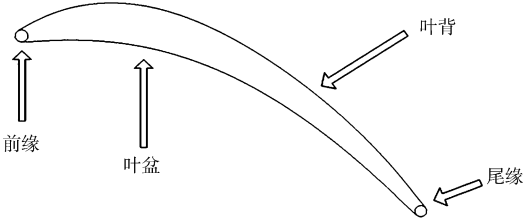


图 4 初始叶身截面线

Fig. 4 Initial section line of blade body

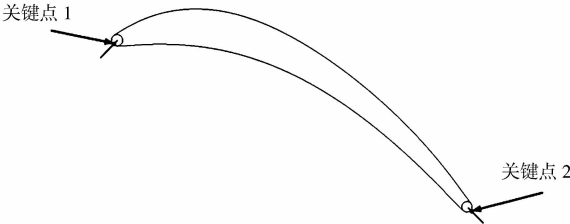


图 5 提取前缘后缘的关键点  
Fig. 5 Pick up the key point of leading edge and trailing edge

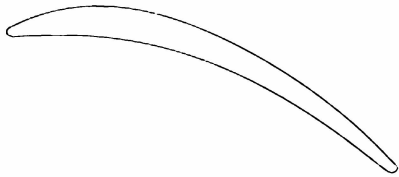


图 6 生成单条叶身截面线  
Fig. 6 Generate a single blade body section line

曲率半径、斜率,重新构造前、后缘,以及叶盆、叶背的 4 条样条曲线,如图 7 所示.

利用如上所述的构造方法,可以较完善的通过给定的叶型坐标得到叶身截面线,并且可以保证前缘、后缘、叶盆、叶背 4 条样条曲线在连接点依然保持光滑连续. 最后,通过一组叶身截面线创建叶身,如图 8 所示.

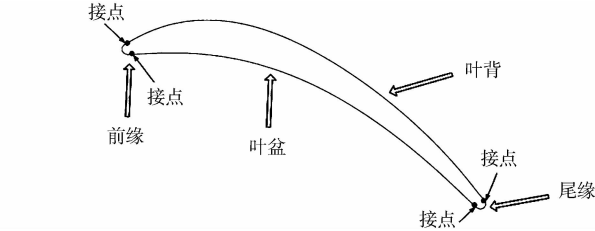


图 7 4 条曲线光滑连接的叶身截面线  
Fig. 7 Four smooth connecting  
section lines of blade body

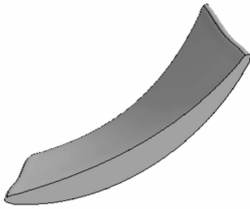


图 8 通过截面线组生成叶身  
Fig. 8 Generate blade body  
through the section line

整个叶身的构造过程由 C 语言与 UG/OPEN API 相结合的方式自动控制生成,其中部分程序的开发语句如下:

```
UF_CURVE_create_spline_thru_pts(degree,periodicity,num_points,point_data,
    parameters,save_def_data,&spline_tag);/* 通过读入的数据点文件生成
    叶身的截面线 */
UF_MODL_ask_curve_props(spline[k],parm,point,temp_data_props[i].target,
    temp_data_props[i].p_norm,b_norm,&torsion,&temp_data_props[i].
    rad_of_cur);/* 获取样条曲线上各个点间的斜率,曲率等信息 */
UF_MODL_create_thru_curves1(&s_section,&s_spline,&patch,&alignment,
    value,&vdegree,&vstatus,simple,&body_type,Boolean,target_body,tol,
    c_num,c_face_id,c_flag,c_dir,&body_obj_id);/* 通过叶身截面线构建叶身 */
:
}
```

### 3 应用实例

为了验证该平台所生成模型的可行性和有效性,通过一个实例来完成验证,如图 9 所示.首先进入涡轮叶片结构参数化设计平台,该平台采用多级对话框进行控制,按涡轮叶片零件图纸的数据依次对叶冠、叶身、下缘板、伸根和榫头等部分进行数据输入.其中:叶冠、叶身、下缘板和伸根

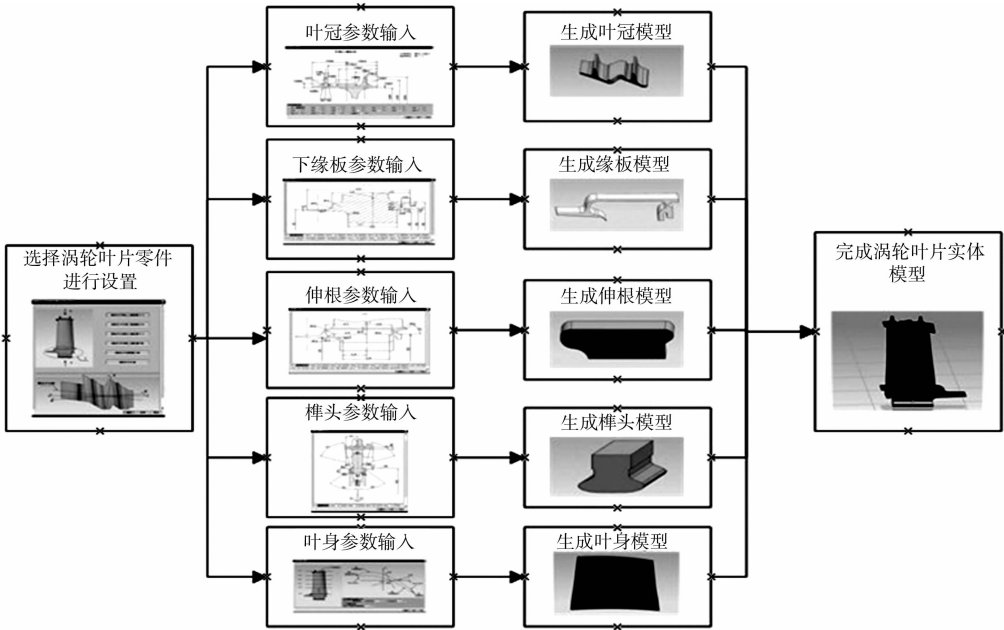


图 9 涡轮叶片实体模型的创建  
Fig. 9 Creation of entity turbine blade model

的样板形式构建,程序仅控制设计参数的更改,以及依据模型样板生成所需的模型,叶身的模型则完全由程序生成. 将叶身型值点数据放入程序指定的文件夹即可通过平台自动生成,叶身空间定位及旋转角度可在平台中直接设定.

每完成一部分模型的生成,均可直观地在界面中进行浏览,并进行实时的修改. 在完成所需 5 个几何特征的三维模型建模后,再通过设置涡轮叶片俯视图数据,确定各个几何特征之间相对角度,选择更新模型按钮. 该平台可将 5 个设计特征自动按要求和,生成涡轮叶片的实体模型.

## 4 结 束 语

针对航空发动机涡轮叶片的结构特点,提出了一种 UG 混合参数化建模生成涡轮叶片的方法. 以 UG NX 7.5 作为设计平台,利用 C 语言及 UG 二次开发模块实现了涡轮叶片参数化平台的设计. 利用此优化设计平台,按照新的设计参数,可以迅速地建立涡轮叶片的三维实体模型,并用于后续的有限元分析及优化设计,极大地缩短了涡轮叶片的结构设计周期.

### 参考文献:

[1] 刘长福. 航空发动机结构分析[M]. 西安:西北工业大学出版社,2006.  
[2] 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.  
[3] 丁坤,潘亚嘉,张宪文,等. 基于 UG 的双圆弧齿轮参数化建模[J]. 机械传动,2011,35(1):46-47.  
[4] 崔亮. 基于 UG 的圆柱直齿轮参数化建模及有限元分析[J]. 机械工程师,2010(3):111-113.  
[5] 马俊. 基于特征技术的 UG 参数化建模的研究[J]. 机械工程及自动化,2009(6):179-182.  
[6] 何惠江,李楠. 基于 UG OPEN/API 的鱼雷对转螺旋桨参数化建模[J]. 鱼雷技术,2011,19(1):10-13.  
[7] 常江. 一种机器人传动机构的参数化设计及其 UG 二次开发[D]. 沈阳:东北大学,2006.  
[8] 白禹,张定华,任军学,等. 叶片高质量造型方法研究[J]. 机械科学与技术,2003,22(3):447-449.

# Development of the Parametric Structural Design Platform for Turbine Blade

HUANG Ming, HUANG Zhi-jian, HAO Yan-hua

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

**Abstract:** According to the structural characteristics of aircraft engine turbine blades, a UG (Unigraphics NX) hybrid parameterized modeling method for creating turbine blade is presented in this paper. In the UG environment, four kinds of secondary development tools provided by UG and the VC++ programming language is used to complete the development of parametric structural design platform for turbine blade parameters. Then the application examples are provided.

**Keywords:** turbine; blade; Unigraphics NX; secondary development tools; parametric; VC++

(责任编辑: 陈志贤      英文审校: 杨建红)