

涡轮叶身外型截面线二维工程图快速生成^{*}

Rapid Generation of Two-Dimensional Drafting of Turbine Blade Body Profile Cross Section Line

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 张颖 宁涛 席平

[摘要] 为实现涡轮叶片叶身外型截面线的二维工程制图快速生成,结合涡轮叶片的结构特点,在生成工程图之前先对截面线进行特征提取。以某型涡轮叶片为具体实例介绍了数据导入生成的外型截面线的特征参数提取、工程图的生成及表格尺寸的自动标注过程,详细阐述了对任意叶身高度的外型截面线的特征参数提取方法。

关键词: UG二次开发 叶身外型截面线 特征提取 尺寸自动标注

[ABSTRACT] To realize the drafting of the turbine blade body profile cross section line rapidly, with turbine blade structure characteristic being united, the characteristic of cross section line should be abstracted before generating the drafting. Taking some type of the turbine blade as the concrete example, the process of abstracting characteristic, drafting generating and automatic table dimensioning of the data leading-in generated exterior cross section line are introduced. The method of abstracting characteristic of exterior cross section of arbitrarily altitude of turbine blade is expounded in detail.

Keywords: Secondary development of UG Profile cross section line Characteristic abstracted Automatic dimensioning

现有发动机结构复杂、参数化设计过程繁琐。叶片作为发动机的重要工作部分,设计过程不同于由二维图指导从而完成三维的传统建模方法,而是通过一组特定格式的数据导入生成的叶片模型,因此对生成的叶片模型进行工程图的开发对研究叶片结构及下游数据分析十分重要。

在工程制图方面,利用UG本身的Drafting模块生成的涡轮叶片工程图效果并不理想,要准确得到一些较为复杂的视图仍是目前面临的难题之一。其中主要有两方面原因:

(1)由于叶片本身的形状较为复杂,结构庞大,细节繁多,这给传统的生成工程图的方法带来了挑战。

(2)UG系统自身的缺陷。UG的二维绘图工具并不完善,集成度不高,内容较分散。

目前的研究主要采用UG和AutoCAD相结合的手段生成二维工程图,工作量大、自动化程度低。对于复杂的图形,要得到与原图形完全一致的DXF文件,实现起来比较复杂。常常因为参数设置不当而产生多余的线条,有时甚至出现视图和剖面线丢失或者转换后的图形出现少线、没有尺寸或UG中的一条线段在CAD中被分割成多条线段,复杂图形甚至转换不成功等问题,这些都给设计者带来不少麻烦^[1]。在设计过程中,同一系列产品中,如果每个产品的工程图都需要单独设计,那就需要花费大量的时间,并且造成重复劳动,效率不高。

本课题针对航空发动机涡轮叶片的叶身外型截面线的二维制图展开了研究,详细论述了截面线的特征参数的提取和分析,利用UG二次开发UG Open API,借助VC++开发平台开发了系列化的工程图程序。利用该程序可以提高工作质量和效率,缩短整个设计制造周期。

1 叶身外型截面线工程图生成及尺寸自动标注

1.1 叶身外型截面线的特征提取

叶身外型截面线由四段首尾相接的曲线组成,它们是:前缘截面曲线、叶盆截面曲线、后缘截面曲线和叶背截面曲线。如图1所示,点A、点B、点C和点D分别表示叶背截面曲线与前缘截面曲线的交点、前缘截面曲线与叶盆截面曲线的交点、叶盆截面曲线与尾缘截面曲线的交点和尾缘截面曲线与叶背截面曲线的交点,在各个交点处截面线的连续性为二阶几何连续^[2]。截面线的主要参数主要包括前后缘的半径,前后缘圆心坐标,以及图1显示的4个交点。

涡轮叶片的实际设计过程是首先按照自定义的数据文件格式,导入输入截面线数据文件,生成如图2所示的叶身外型截面线,然后自动放样成形,进而生成叶

^{*} 863计划项目(2007AA04Z125)。

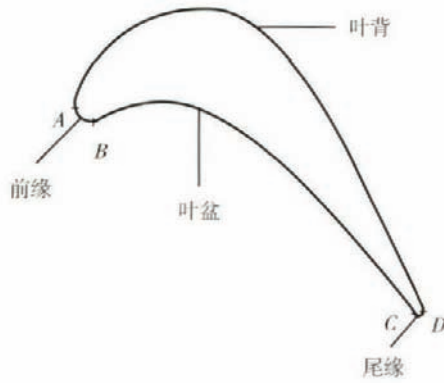


图1 叶身截面线示意图

Fig.1 Diagram of cross section line of blade

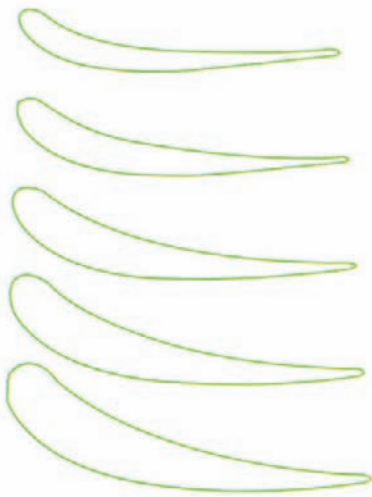


图2 叶身数据文件成型叶身外型截面线

Fig.2 Cross section lines formed by data files of blade

身外形实体^[3]。截面线数据文件已包括了组成每条截面线的4条曲线的几何参数信息,要得到曲线的几何参数信息只要提取这5条叶身外型截面线即可满足要求。本课题采用交互式设计,即用户自行选取要表达的叶身外型截面线。

在UG中打开模型时,往往只是显示可见层所包含的模型信息,在造型过程中的一些特征并没有显示。叶身外型截面线是在造型过程中叶身放样的初始,它并不一定在最后的可见层里体现,因此,为了能使用户交互选择,首先将所有的图层都设置为可见,这样,叶身截面线便能够显示出来以方便选择。

在UG/Open API的专用交互接口UF_UI提供的函数中,UF_UI_select_with_class_dialog()显示按类选择对话框,这在选择几何对象方面提供了方便。UF_UI_sel_init_fn_t init_proc是这个函数其中的一个重要参数,用于选择的初始化工作。可调用函数UF_UI_set_sel_

mask()设定选择对象的类型^[4]。在本例中,叶背和叶盆的类型是样条,前缘和后缘是圆弧类型,可设定选择对象的类型为UF_spline_type和UF_circle_type。图3为用户交互选取叶身外型截面线时的对话框。

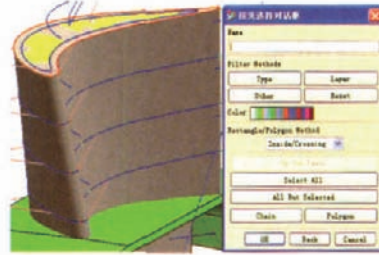


图3 按类选择对话框

Fig.3 Dialog box for choosing by types

叶身外型截面线的提取及工程图生成的流程图如图4所示。

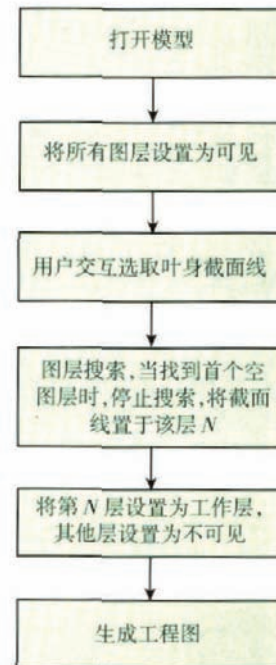


图4 生成的流程图

Fig.4 Generated flowchart

1.2 表格尺寸的自动标注

为了更具体地表达叶身截面线的尺寸信息(如图5所示),需要按照一定的间隔(如0.20)取距离Y轴为 $|0.20i|$ ($i=0,1,2,\dots$)的一系列点,标出它们的坐标值 (X,Y_p) , (X,Y_q) ,并填入表格中,这也是为下游的气动分析做数据准备。

需要注意的是,在建模模块中完成的三维模型生成工程图时,其坐标值对应应在工程图模块中是以图纸的左下角为原点,而对于生成的工程图,将以建模时的X轴

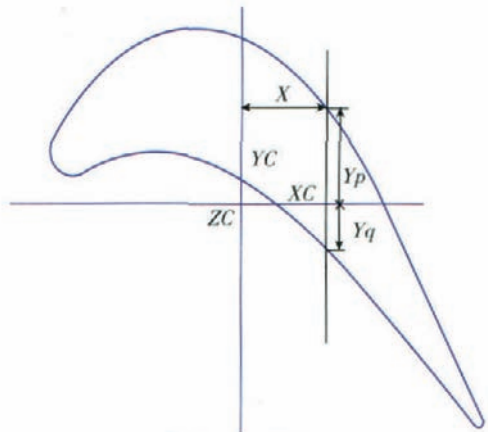


图5 尺寸标注
Fig.5 Dimensioning

与Y轴的交点为参考原点,这就导致了在建模模块中完成的三维造型生成工程图时,坐标值将发生变化。对于参考原点的坐标,UG/Open API中提供了函数UF_VIEW_map_model_to_drawing(),可以将参考原点的三维坐标转换为工程图模块下的二维坐标,这样,其余的点坐标将可以以此为参考。

尺寸标注的流程如图6所示。

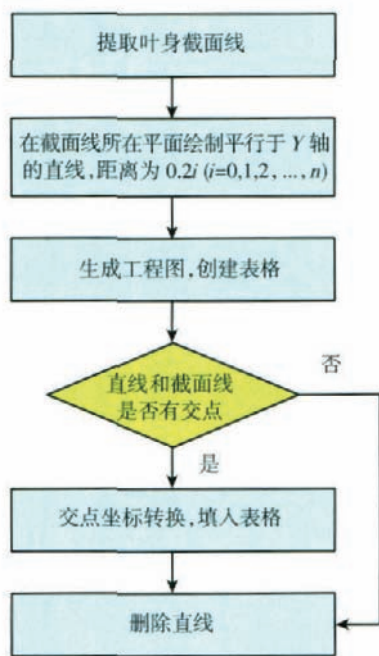


图6 尺寸标注流程
Fig.6 Flow of demensioning

2 任意叶高的叶身外型截面线参数提取

2.1 方法提出

上述方法是针对数据导入生成的5条特殊位置叶身外型截面线的参数提取方法,在整个涡轮叶片设计的下游气动分析的过程中,常常需要对任意叶高位置的截

面线进行分析,因此对截面线进行参数提取为气动分析和强度分析做数据准备十分必要。上述方法不能满足此需求,本课题提出了创建一垂直于Z轴的平面与叶身外型相交的方法,为仅得到一条完整的叶身外型截面线,需要将除叶身外型以外的部分消隐,由于在上游的参数化设计过程中,已经对叶身的外型的特征命名,因此可通过查询特征名搜索到叶身外型部分,将其他部分隐藏,这样问题的难点集中在如何得到图1所示的A、B、C、D四点上。

在本课题中,采用以下方法:(1)将这条完整封闭的曲线等弧长离散成有序排列的点N;(2)求得每一个点的曲率并绘制曲率图;(3)鼠标拾取曲率图中突变部分的起始和终止点,为提高精度,继续离散成有序点并分别绘制曲率图;(4)若此时曲率图较平缓,近似一条直线,则取(3)中突变部分的2个端点,近似地认为端点为所求点,并对端点间的突变部分用最小二乘法进行圆弧拟合,得到圆弧的半径和圆心的坐标;若仍存在明显突变,则取此时突变部分的2个端点,同样的方法进行圆弧拟合,求得圆弧半径和圆心坐标。

提取突变起始和结束两点之间的数据点 $Q_j(x_j, y_j)$ ($j \in 0, n$), n 为前缘的点数,采用拟合最小二乘法求解前缘的圆心 $Q_0(A, B)$ 和半径 r_q 。点集 $Q_j(x_j, y_j)$ ($j \in 0, n$) 中的点到圆心的距离为 d_j :

$$d_j^2 = (x_j - A)^2 + (y_j - B)^2 \quad (1)$$

点 (x_j, y_j) 到圆心的距离的平方与半径平方的差为:

$$\varepsilon_j = d_j^2 - R^2 = (x_j - A)^2 + (y_j - B)^2 - R^2 = x_j^2 + y_j^2 + ax_j + by_j + c \quad (2)$$

其中令:

$$\begin{aligned} a &= -2A, \\ b &= -2B, \\ c &= A^2 + B^2 - R^2. \end{aligned} \quad (3)$$

则要求:

$$\begin{aligned} F(a, b, c) &= \sum_{i=0}^n \varepsilon_i^2 \\ &= \sum_{i=0}^n [(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)]^2 \end{aligned} \quad (4)$$

最小,由极值法则知,满足

$$\frac{\partial F(a, b, c)}{\partial a} = \frac{\partial F(a, b, c)}{\partial b} = \frac{\partial F(a, b, c)}{\partial c} = 0 \quad (5)$$

求解方程组(5),即可求得圆心 $Q_0(A, B)$ 和半径 r_q ,采用同样的方法拟合后缘圆心 $H_0(x_0, y_0)$ 和半径 r_h 。

2.2 应用实例

为便于分析误差,本例中将以特定的第二层截面线为研究对象。UG/Open API中提供了函数UF_SO_

create_point_along_curve() 可以将曲线等弧长地离散,在此之前需先调用 UF_CURVE_ask_arc_length() 计算整个曲线的弧长,可以将曲线离散成 $N=200$ 个有序点,如图 7 所示。在图中的前缘和后缘的位置分别是对局部继

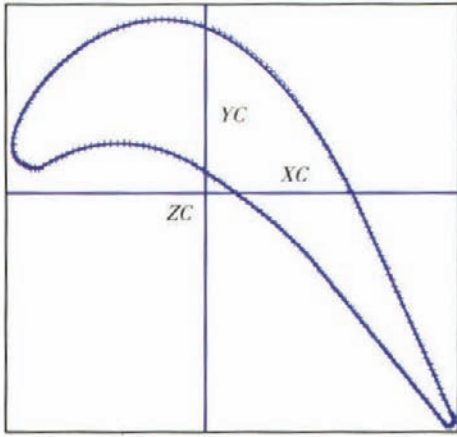


图7 曲线离散
Fig.7 Curve discreting

续离散所形成的 200 个有序点。

要求得每一个点的曲率值,取相邻的 3 个点 P_{i-1} 、 P_i 和 P_{i+1} 拟合成圆,所拟合的圆的半径的倒数(曲率)作为点 P_i 的曲率值 $1/r_1$,再由 P_i 、 P_{i-1} 和 P_{i+1} 得到 $1/r_2$,曲率 $1/r_3, \dots, 1/r_n$ 的计算方法依次类推。这样做可以实现目标,但在 UG/Open API 中也提供了相应的函数 UF_MODL_ask_curve_props() 可以很方便地得到每一个点的曲率。该函数只要知道了点的参数值,便能直接计算出曲率。而参数可以通过函数 UF_MODL_ask_curve_parm_no_ext() 求得。最后得到曲线离散的结果绘制成图,如图 8 所示。经过比较可以发现,上述 2 种求曲率的方式所得结果比较一致,但后者方便快捷得多。

从图 8 的曲率图中可以很清楚地看到前后缘的曲率变化。取出突变的起始和结束曲率点进行初次的前后缘的圆心和半径拟合。

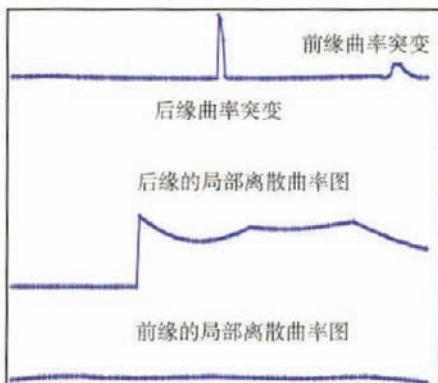


图8 曲率图
Fig.8 Curvature diagram

为了减小误差,进一步地直观观察突变部分曲率的变化,对于前后缘继续进行局部离散。取突变的两端点之间的那段曲线,将其离散成 200 个有序点,所得曲率图如图 8 所示。可以看出前缘部分曲率变化较平滑,变化幅度非常小,不需要做数据处理,而后缘部分仍存在着突变,需要做进一步数据精简去除冗余数据。从曲率值可以推断,突变前的平滑段仍属于样条曲线上的部分,而突变点后的数据,才可能是后缘部分的点。最后取这部分中变化较平滑的数据点拟合后缘的圆心和半径。拟合结果如图 9 所示。



图9 参数拟合结果
Fig.9 Parameters fitting result

利用第 1 节所述方法在工程图模块中能完成尺寸的自动标注,得到第二层截面线的前缘半径为 1.45,圆心坐标 (-12.3,3.25),后缘半径为 0.38,圆心坐标 (17.28,-15.9)。参考该数据,对于此方法中的结果取二次拟合的半径和圆心坐标,误差均在 0.5% 以内。参数提取过程的对话框如图 10 所示。



图10 参数提取对话框
Fig.10 Parameter extraction dialog box

完成参数提取并生成工程图及自动标注整个过程如图 11 所示。

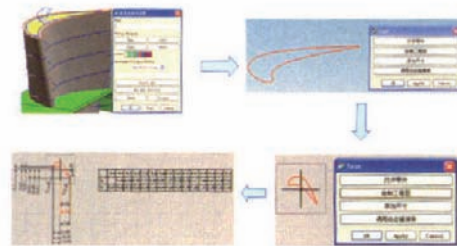


图11 过程演示界面
Fig.11 Process demo interface

(下转第 84 页)

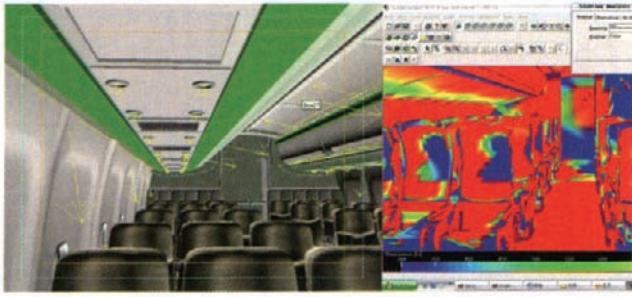


图6 整体灯光布局图及照度检测示意

Fig.6 Overall arrangement of lights and the illumination checking



图7 软件计算过程截图

Fig.7 Screenshot of calculating process of the software

6 结束语

先进的内饰设计理念和技术的提高民航客机设计先进性、增强市场竞争能力的重要保障。对它的内饰设计方案的评价也是一个需要综合诸多学科的一个非常复杂的过程。本文在对这一过程进行分析和总结的基础上,确定了比较全面的评价指标,并引入 Fuzzy-AHP 法,确定各个指标的权重,最终通过编程实现了对飞机客舱内饰设计的多层次阶层结构的多级模糊评价,避免了评价中的主观随意性。

参考文献

[1] 冯雷 范玉青. 飞机技术虚拟样机技术与实现. 航空制造技术, 2004, (10):88-91.

[2] Tai-Chang H. Evaluating the writing quality of aircraft maintenance technical orders using a quality performance matrix. International Journal of Industrial Ergonomics, 2007,37: 605-613.

[3] 冉承新, 凌云翔. AHP—Fuzzy 在仿真系统可信度综合评价中的应用. 计算机仿真, 2005, 22(8):59-61.

[4] Zeki A, R.G. Özdemir. A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives. Intell Manuf, 2006,17:179-190.

[5] 李雄伟. 基于 Fuzzy-AHP 的通信网安全评价方法研究. 军事通信技术, 2005, 26(2):6-9.

[6] Saaty, T. L. Decision Making, Scaling, and number crunching. Decision Science, 1989,20: 404-409.

(责编 阳光 小颖)

(上接第 75 页)

3 结束语

应用虚拟设计制造技术可提高架车系统的设计质量,简化甚至取消实物样机的制造过程,缩短开发周期,降低制造成本。其中虚拟装配打破了以往“设计-制造(装配)-评价”和“实物验证”的封闭式空间模式,改善了装配关系的滞后检验,避免了不必要的浪费,在设计阶段就验证了零件之间的配合和可装配性;运动仿真干涉分析能够对架车的各个运动部件进行性能评价,加强了设计的逼真性、可靠性和精确性。此外,合理的集成化 CAM、CAPP 保证了制造过程的顺利实施,大大缩短了制造周期。建成后的 FL-9 低速增压风洞架车系统经过模型风洞试验测试,整个架车的刚度、强度、角度定位精度完全满足设计要求。

参考文献

[1] 刘政崇. 风洞结构设计. 北京: 中国宇航出版社, 2004.

[2] 陈定方, 罗亚波. 虚拟设计. 北京: 机械工业出版社, 2002.

[3] Ji Ping, Choi A C K, Tu Lizhong. VDAS: a Virtual Design and Assembly System in a Virtual Reality Environment. Assembly Automation, 2002, 22(4):337-342.

[4] 恽起麟. 风洞实验. 北京: 国防工业出版社, 2000.

[5] 郑亚青, 林麒, 刘雄伟. 低速风洞绳牵引并联支撑系统的机构与模型姿态控制方案设计. 航空学报, 2005(11): 774-778;

[6] 竹朝霞, 惠增宏, 金承信. NF-3 风洞尾支撑机构及其测控系统的研制. 流体力学试验与测量, 2003(09):47-50.

[7] 林勇志. Pro/Engineer 野火版基础教程. 北京: 人民邮电出版社, 2004.

[8] 小飒工作室. 最新经典 ANSYS 及 Workbench 教程. 北京: 电子工业出版社, 2004.

(责编 小颖)

(上接第 79 页)

3 结束语

本课题研究了提取涡轮叶片的叶身截面线生成工程图和自动标注尺寸的方法,提高了二维制图的效率,所提取的叶身外型截面线参数能直接在后续的工程分析阶段和制造过程中使用,进而缩短产品研制周期,也为涡轮叶片的二维制图的进一步研究奠定基础。

参考文献

[1] 张再德. 复杂 UG 工程图转换成 AutoCAD 工程图的方法. 机械制造, 2006,44(498):41-42.

[2] 宋玉旺, 席平. 特征造型技术的涡轮叶片参数化设计. 北京航空航天大学学报, 2004,30(4):321-324.

[3] 宋玉旺, 胡毕富, 席平. 基于特征的航空发动机涡轮叶片参数化设计. 航空制造技术, 2007,11:73-78.

[4] 侯永涛, 丁向阳. UG/Open 二次开发实例精解. 北京: 化学工业出版社, 2007.

(责编 淡蓝)