

飞机典型零件下陷的参数化设计*

Parametric Design of Typical Aircraft Part Joggle

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 张开兴 张树生 白晓亮 邵立

[摘要] 由于在 CATIA 软件钣金模块中,只支持平板类零件的下陷设计,不支持长桁类等复杂零件的下陷设计,本课题在 CATIA 二次开发平台上,利用面向对象的程序设计语言 VB,基于参数化设计,开发了一个飞机典型零件下陷的参数化设计系统。

关键词: CATIA 二次开发 下陷 参数化

[ABSTRACT] CATIA only supports the joggle design of flat-shaped parts in sheet metal module, but not the joggle design of complex parts. Based on the parametric method of secondary development platform, an aircraft parametric design system of typical parts joggle is developed by using the object oriented programming language VB.

Keywords: CATIA Secondary development Joggle Parametric

CATIA V5 是 Dassault systems 公司与 IBM 公司共同合作推出的微机版专业 CAD/CAM 软件,它具有卓越的知识智能、机械产品设计、有限元分析、NC 编程和数字化虚拟样机等强大的功能模块,得到许多用户的青睐。CATIA 提供的航空钣金模块虽然专门针对航空零件,但要求钣金零件必须在航空钣金模块中生成才能进行后续的下陷生成,只支持平板类钣金下陷零件的设计,不支持长桁类、框缘类等复杂零件下陷的设计。飞机下陷零件尺寸大小不一、形状复杂、选材各异、产量不等、品种繁多,在飞机制造过程中的应用非常广泛;而目前在飞机下陷零件的设计中,主要是手动在 CAD 软件中绘制,由于零件的复杂性,不能较好地绘制,而且绘制的图形不具备很好的可修改性,无法满足重复设计的需求,基于 CATIA 二次开发的飞机下陷零件快速设计,将显著提高设计的效率。

1 三维参数化建模

1.1 参数化建模特点

参数化建模能清晰地表达三维模型,其模型参数能很

好地反映实物特征参数,参数化的关键是如何用实物的特征参数来自动控制和生成实物三维模型,并将特征参数发生的改变自动反映到三维模型中。这一技术不仅给机械产品中的标准件、常用件和系列化产品的设计带来极大便利,而且也是近来提出的“大量定制”MC 生产方式中敏捷设计的一项基础技术。“大量定制”是现代化制造业的发展趋势,它要求产品不仅能具备正常的功能,而且还要能融入不同客户所需的个性化特征。这种个性化的特征可以用参数的形式表达出来,在客户需要时及时反映到零部件中去,并能指导生产。

1.2 约束分析

参数化设计的核心就是约束的建立,在 CATIA 约束中存在一些特性,如系统轴是不移动的,当进行约束时,只移动所绘元素;几何约束中的约束值只能为正值,不能为负值;几何约束过程是按顺序执行的,即按编写的语句一步一步执行,不同的顺序可能会产生不同的结果。为了减少参数化过程中由于约束而产生的错误,经过多次试验,总结出以下约束规则:

(1) 从小到大约束。先对尺寸较小的约束,再约束整体较大的尺寸。

(2) 按绘图顺序进行约束,则具有较好的可修改性。

(3) 只让一个元素与系统轴或系统原点有关联,其他元素基于该元素,逐步建立关联。

为了使约束程序具有可读性和修改性,基于 CATIA 系统建立飞机下陷零件参数化设计约束的主要过程如下:

(1) 调用 API 函数^[1]。在草图界面中绘制截面的整个轮廓图,主要是线和圆弧。代码为 set line=ofactory.create-line(), set circle=ofactory.createcircle()。

(2) 使轮廓图的各元素相连。API 所绘制的各元素是分离的,为了实现参数化,需要各元素相连,达到修改一个元素,其他元素自动调整的目的。

(3) 对所需要约束的元素建立参考元素。CATIA 中的功能函数主要以调用参考约束为主,代码为 set Reference1=opart.createReferenceFromObject(),类似于 C++ 里的引用。

(4) 进行几何约束,例如水平、垂直、圆弧与线之间的相切。

* 国防基础科研(D0620070101)资助项目。

(5) 进行尺寸约束。给所需要的元素和元素之间建立尺寸约束,例如直线的长度、圆弧的半径和 2 直线之间的距离等。

1.3 参数化建模实现方法

尺寸驱动是参数驱动的基础,尺寸约束是实现尺寸驱动的前提^[2]。CATIA V5 尺寸约束的特点是将形状和尺寸联合起来考虑,通过尺寸约束来实现对几何形状的控制。设计时必须以完整的尺寸参数为出发点,不能欠约束和过约束。尺寸驱动是在二维草图空间下实现的。图形完全约束后,其尺寸和位置关系才能协同变化,系统会直接将尺寸约束转化为系统参数。草图修改可通过编辑系统参数直接驱动几何形状的改变,为三维参数驱动提供基础。参数化建模实现过程如下:

(1) 分析参数化设计过程和 CATIA 约束的机制,利用变量来实现对图形的驱动。

(2) 对下陷零件的参数进行分类,分为主要参数和次要参数。主要参数主要体现零件的整体框架,次要参数主要体现零件的特征和加工特性。

(3) VB 编程实现了在三维空间中建立一个二维参考平面,并在此平面上进行图元的绘制和建立图元的约束关系。以简单的图元关系来替代复杂的图元关系,然后通过添加相应的几何约束和尺寸约束,使草图达到用户自定义设计的要求。

(4) 利用自动化应用接口的宏作为 VB 与 CATIA 之间的接口,使设计的图形在 CATIA 软件中显示。

总之,三维参数化建模的好坏很大程度上取决于二维图形中的尺寸约束和实物参数的符合程度。只有抓住 CATIA 建模的特点并采取合理的二维和三维建模方法,才能建立理想的模型。

2 飞机典型零件下陷尺寸计算

2.1 下陷概念

所谓下陷是指当 2 个零件互相搭接时,为了保证零件间互相贴合,满足装配要求,需要在其中的一个零件上使用下陷模压制出下陷。下陷可分为直下陷、斜下陷、双面上陷、连续下陷和曲面零件下陷等。例如 2 块角型材要叠在一起安装,为保证安装后表面平齐,其中一块角型材在安装处必须要往下陷进去。在飞机的制造过程中,下陷零件的使用非常广泛。

2.2 下陷零件尺寸计算

对钣金类零件,我们可以根据应变中性层在弯曲前后长度不变的特点确定毛胚的长度^[3],但对长桁等复杂零件没有合适的计算公式,本课题根据长桁类等零件中平板的中性层来计算展开的长度。图 1 是平板下陷截面图。

已知 A_1, A_2, L, R, H, m_1 , 计算公式总长度 L_1 。

其中 R 为零件的内弯曲半径; m_1 为材料厚度; k 为中性层位移系数,与零件的变形程度有关。 R' 为中性层曲率半径; θ 为弯曲角度 (也是下陷角度); θ' 为下陷弧度值; l_2 为中性层的下陷斜边长度; e 为弯曲部分中性层展开长度 (由图可知 2 部分的弯曲部分中性层张开张度一样)。

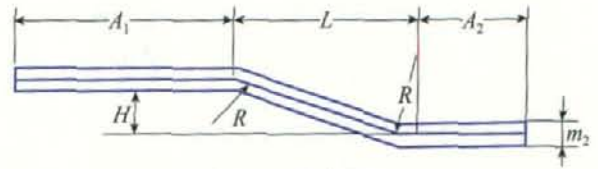


图 1 下陷截面图
Fig.1 Joggle section

$$\begin{cases} L_1 = A_1 + A_2 + 2e + l_2 \\ e = R' \theta' \\ R' = R + m_1 \times k = R + m_1 / 2 \text{ (由图可知)} \\ \theta' = \theta \pi / 180 \end{cases}$$

需要求得参数 l_2, θ 和 θ' 。

根据 R, L, H 的几何关系,求解 θ, θ', l_2 , 得

$$\begin{cases} R' \sin \theta + l_2 \cos \theta = L \\ 2R' (1 - \cos \theta) + l_2 \sin \theta = H \\ \sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} (H^2 - 4HR' + 4R'^2 + L^2) \cos^2 \theta + \\ 4R' (H - 2R') \cos \theta + 4R'^2 - L^2 = 0 \end{cases}$$

令

$$\begin{cases} c_1 = (H^2 - 4HR' + 4R'^2 + L^2) \\ c_2 = 4R' (H - 2R') \\ c_3 = 4R'^2 - L^2 \end{cases}$$

则把公式简化成

$$\begin{cases} c_1 \cos^2 \theta + c_2 \cos \theta + c_3 = 0 \\ \Delta = c_2^2 - 4c_1 c_3 \\ \cos \theta = \frac{-c_2 + \sqrt{\Delta}}{2c_1} \end{cases}$$

(因为 $\cos \theta$ 恒大于 0, 所以 $\cos \theta = \frac{-c_2 - \sqrt{\Delta}}{2c_1}$ 舍去)

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta}$$

$$\theta' = \arctan (\sin \theta / \cos \theta)$$

(θ' 表示弧度值, VB 函数里只提供反正切三角函数, 得出的值是弧度值) 接着可以得到斜边长度 l_2 :

$$l_2 = (L_1 - 2R' \sin \theta) / \cos \theta$$

最后得到,

$$L_1 = A_1 + A_2 + 2e + l_2$$

3 错误反馈

由于参数输入的不恰当,往往导致所设计的飞机下陷零件无法在 CATIA 界面中显示出来,而寻找错误参数将会增加时间、降低设计效率,因而本课题设计了错误参数的自动提示功能,从而提高系统的效率。对参数进行检测是在参数输入完毕后、图形生成之前。当有错误时,则将相关错误参数提示出来;若无错误,则在 CATIA 界面中显示所设计的零件。

有些错误是比较明显的,很容易发现,有些错误是隐含的,不容易发现,只能在不停的试验中出现错误时,再对该错误进行深入的分析,了解引起错误的原因,进而要在错误反馈机制中加入该错误的提示信息,这就要求编制的程序应具有很好的可修改性。

4 试验结果

图 2 为针对飞机平板类、缘条类、长桁类和框缘类零件的截面图,点击相应的控件进入下陷设计界面。

单击图 2 中 U 形长桁按钮,弹出参数化界面,如图 3、4 所示,给出默认参数值,避免用户重复输入次要参数,如参数 R_1 , 参数 m_1 等,也可对默认参数进行修改,以满足设计要求。

U 形长桁的默认参数不变,单击创建,在 CATIA 软件里生成如图 5 所示的下陷零件。单击展开,生成如图 6 所示的 U 形长桁的展开零件。

如果用户输入的参数不合理,导致图形无法生成,则提供错误反馈机制,提示用户修改相关参数。若不修改横梁上缘条的默认参数,只将一次下陷的参数 R 改成 15,则弹出错误提示对话框,提示用户修改参数,如图 7 所示;将参数 H 改成 30,则弹出图 8 错误提示对话框,提示用户修改参数。

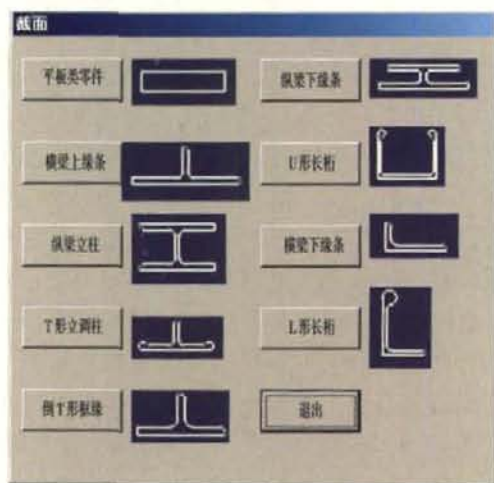


图 2 截面界面
Fig.2 Interface diagram

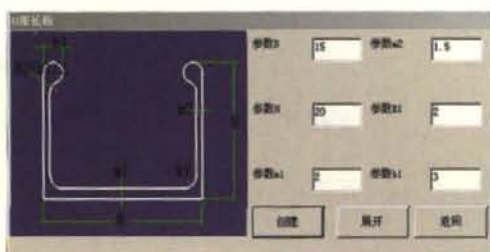


图 3 截面参数化界面
Fig.3 Parametric interface of the section

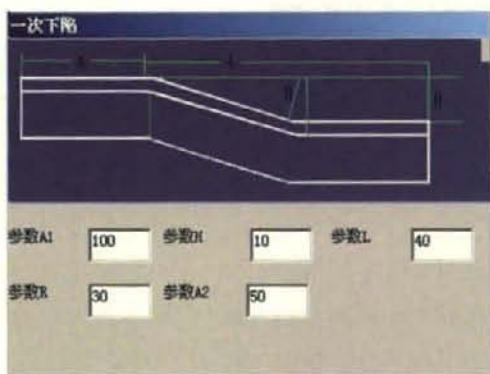


图 4 下陷参数化界面
Fig.4 Parametric interface of the joggle

错误反馈机制的引入,在一定程度上过滤了用户不小心输入的不合理参数,方便用户查找错误参数,并理解错误参数所引起的一些后果,同时能快速更正参数,使想要的图形在 CATIA 软件中正常显示。



图 5 U 形长桁下陷图
Fig.5 Joggle picture of u-type stringer



图 6 U 形长桁展开图
Fig.6 Spreading picture of u-type stringer

5 结束语

本课题提供了一个专门用于飞机典型零件下陷的自动生成系统,能够对飞机长桁、框缘和缘条等零件一次下陷 (下转第 86 页)

大、叶片根部与型面和轮盘外圆表面转接的接刀痕迹较大、根部圆弧上有明显的纵向波纹。

为了使光饰抛光后的整体叶盘叶片表面获得完全均匀一致的粗糙度表面质量,对叶片表面的局部进行了手工打磨处理。打磨处理的工具选择了砂带机,砂带磨削具有效率高、摩擦生热少、磨粒散热时间间隔长的特点,可以有效地减少工件变形烧伤^[3];此外,砂带磨削与工件是柔性接触,不会产生硬性打磨的凹坑缺陷,砂带有一定的宽度、且粒度一致性好,能避免打磨时动作强弱不当和磨料本身粒度不均产生的较深的沟痕和划痕。磨料粒度选用要适当,以保证打磨的粗糙度值低于1.6 μm。

2.2 整体叶盘叶片光饰抛光实际应用效果

把经过数控加工和简单手工打磨处理的整体叶盘叶片按照转轴式光饰机抛光试验参数进行了实际加工应用,应用期间的每个阶段对于数控加工形成的显露清晰的局部明显不均匀刀痕采取少量的打磨处理,整个抛光的实际加工时间在4h左右。叶片的形状、位置尺寸依然保持良好,表面获得符合要求的、均匀一致的粗糙度质量,没有烧伤、烧蚀及腐蚀现象产生,未产生变形。

3 整体叶盘叶片光饰抛光方法应用发展探析

目前受数控加工质量影响,在整体叶盘叶片光饰抛光前的打磨工作量仍然较大。为了改变这种现状,必须在减少数控加工的加工刀痕与接刀痕迹方面有更好的工艺方法,目前在这方面思考的改进工作有:(1)采用叶片流道之间添加填充物的刚性强化方法,达到消除因变形影响形成的深的接刀痕迹和切削振动出现波纹的目的;(2)对刀具的材料、切削参数及加工时间进行认真摸索,掌握其规律性,固化刀具材料、几何参数和加工切削参数,并及时更换磨损的刀具,保证表面切削质量处于良好状态;(3)为了更可靠地保证表面的数控加工连续性,利用高转速的数控设备装夹金刚石磨轮进行型面磨削,应该也是可以尝试的加工方法。上述方法如能研究应用,必将极大地降低光饰抛光前打磨处理的工作量,最终使整体叶盘叶片抛光的质量与效率获得满意的提高。

4 结论

通过整体叶盘叶片光饰抛光试验及实际加工应用的结果,获得以下结论:

- (1) 转轴式光饰机(切入式光饰机),是整体叶盘叶片无尺寸抛光的一种可行的加工设备;
- (2) 应用转轴式光饰机进行叶片最终抛光时,比较

可行的方案是使粗糙度值降低在1~2个级别内,抛光前的叶片型面表面不能有严重的接刀和划痕及波纹度不合格现象,叶片根部圆弧表面粗糙度要低于总体表面粗糙度值1个级别,叶片叶尖端面与型面转接圆角要注意控制或预留余量;

(3) 当叶片型面数控加工质量控制不好而需要打磨处理时,磨具尽量选用砂带机进行修磨;

(4) 光饰抛光的设备运动及加工参数的选择要注意不产生变形,磨料粒度选用要适宜,磨削溶液的选择不能产生腐蚀现象。

参考文献

- [1] 刘艳. 叶片制造技术. 北京: 科学出版社, 2002.
 - [2] 刘艳. 叶片制造技术. 北京: 科学出版社, 2002.
 - [3] 孟少农. 机械加工工艺手册. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- (责编 侧卫)

(上接第83页)

生成。飞机典型零件的下陷生成,实现了我国航空工业飞机长桁类、框缘类等零件的下陷生成自动化,缩短了研制时间,降低了生产成本。在后续的工作中,还将针对飞机典型零件的多次下陷进行进一步的研究。

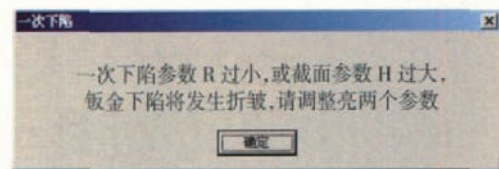


图7 错误提示框一
Fig.7 Error prompt 1



图8 错误提示框二
Fig.8 Error prompt 2

参考文献

- [1] 胡挺. CATIA 二次开发技术基础. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [2] 陈靖芯, 徐晶, 陆国民. 基于 CATIA 的三维参数化建模方法及其应用. 机械设计, 2003(8):48-50.
- [3] 翟平. 飞机钣金成形原理与工艺. 西安: 西北工业大学出版社, 1995:108-213.

(责编 淡蓝)