

# 基于曲面的飞机机翼结构参数化设计

孙中涛

(南京航空航天大学 无人机研究院, 江苏 南京 210016)

**摘要:** 以某型无人机机翼结构设计为例, 介绍在计算机辅助三维交互应用 (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application, CATIA) 软件三维设计环境下, 基于机翼理论外形曲面的机翼结构参数化设计方法。通过完整数据链的全相关结构设计, 实现设计更改过程的全模型自动更新, 设计周期缩短, 成本降低。

**关键词:** 曲面; 结构设计; 计算机辅助三维交互应用; 参数化  
**中图分类号:** TP 391.72      **文献标识码:** A

## Parameterized aerofoil structure design based on surface

SUN Zhongtao

(Institute of UAV, Nanjing Univ. of Aeronautics & Astronautics, Nanjing Jiangsu 210016, China)

**Abstract:** Given an example of aerofoil structure design of a certain type of pilotless aircraft, a parameterized aerofoil structure designing method is introduced, which is based on the surface of aerofoil theoretical configuration under the Computer Aided Three-dimensional Interactive Application (CATIA) 3D software designing environment. By using whole correlative design of integrated data chain structure, automatic updating of whole-model in the designing procedure is realized with the designing period shortened and designing cost reduced. It has actual referring value for the progression of digitalized structure-design and production in the aero industry.

**Key Words:** surface; structure design; computer aided three-dimensional interactive application (CATIA); parameterization

## 0 引言

飞机结构设计是一项复杂的系统工程, 新机研制中结构设计工作一般包括总体方案论证、外形初步设计、详细结构设计、试制与试验、生产与试飞、生产定型等 6 个阶段。<sup>[1]</sup>在实际工作中, 前一阶段工作成果是后一阶段的原始依据, 同时后一阶段工作成果又反馈到前一阶段中。在传统设计手段下, 这个复杂的设计过程和各个设计环节之间的数据传

递和反馈工作往往要耗费大量人力物力, 设计周期也随之增长。计算机辅助设计的出现, 使这一情况得以根本解决。本文以计算机辅助三维交互应用 (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application, CATIA) 软件三维设计环境为平台, 介绍基于曲面的飞机机翼结构参数化设计方法。

## 1 CATIA 软件环境介绍

CATIA 软件是由法国 Dassault 飞机公司从 20

世纪 70 年代开始开发,并应用于航空宇航工业的计算机辅助设计软件,其精确高效、安全可靠的设计,应用在波音 777, 737 和 NEON 等几个项目中,成功实现了 100% 数字模型无纸化生产,在航空工业中堪称业界第一。

CATIA 从产品的概念设计到最终产品的形成,提供了完整的二维、三维和参数化建模,电子样机建立及数据管理手段,其参数化设计过程可为产品结构的全部数据提供变量输入模式或函数关系式;同时,所有与飞机外形相关的结构外形完全依靠数字外形曲面通过参数变换生成;并以此为依据直接提供生产环节中的数控模型或样板曲线,从而达到缩短设计生产周期、提高质量、减少成本的目的。

CATIA 设计环境中提供两种结构组件: Part 和 Product, 分别对应结构设计中的零件和组合件(装配);同时提供三维空间下六自由度的约束,通过 Part 和 Product 的逐级装配,形成虚拟空间中的三维全仿真实体模型。

## 2 某型无人机机翼结构参数化建模设计过程

### 2.1 结构简介

某型无人机机翼为大展弦比平直翼,机翼结构由纵向受力构件大梁、横向受力构件肋板、机翼蒙皮和口框口盖等几个主要部分组成(见图 1)。机翼翼形数据在总体方案确定后以数据表的形式给出。机翼翼展约 4 m, 布置 25 个翼肋。全部机翼结构包括零件 200 余件,螺栓、铆钉等标准件数千件。用传统的设计手段需要绘制结构图纸 300 多张。



图 1 机翼主要结构

### 2.2 建模准备

结构设计的开始阶段应解决全局相关的理论数据和零部件协调关系。首先为全模型建立一个基于装配关系的结构树,零部件递归关系一目了然,这样既为以后的模型装配打下基础,也可以有效防

止数据的循环引用,使错误数据链的发生概率降到最低。那种不管全局就开始具体零件实体造型的设计方法是不可取的。(图 2 所示为结构树的一部分)

对于机翼这种完整部件的结构建模工作,应包括至少 3 个主要过程:(1)原始数据导入,基本参数的确定;(2)零件实体造型;(3)零部件装配。

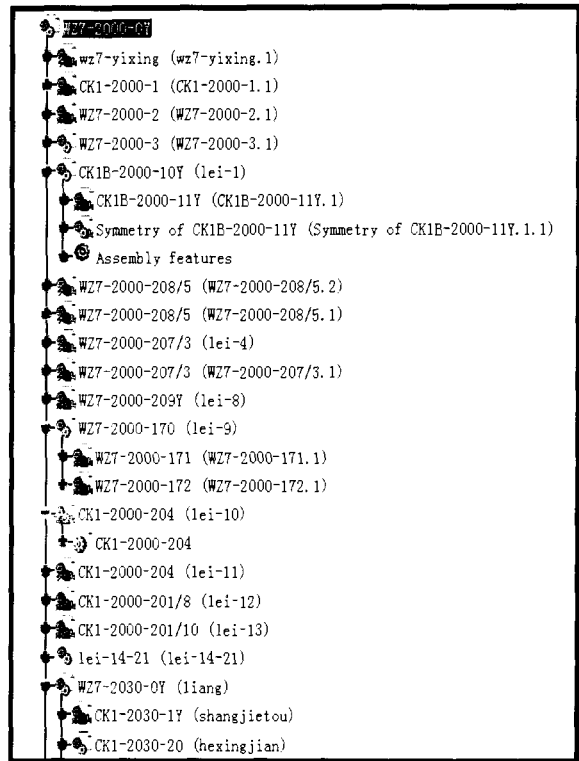


图 2 模型结构树

### 2.3 原始数据导入及基本参数确定

用最顶层 Product 下的第一个 Part 定义总体设计给出的全部理论数据,包括翼形曲面、梁轴线和肋轴线等。这样,所有零件的形位尺寸都以此为源,通过参数引用得到。当对第一个 Part 中的数据进行更改时,整个模型的相关尺寸将随之自动更新。这一特点使以前繁重的设计更改工作变得简单快捷。

翼形数据的导入通过 CATIA 提供的数字化外形编辑器(Digitized Shape Editor)完成。将总体设计提供的翼形数据表整理成 CATIA 可以识别的格式,如 ASCII,然后以点云(cloud)的形式导入,即可拟合成所需的翼形曲线。用此翼形曲线拉伸而成的翼形曲面为结构造型参考的最原始依据——机翼理论外形。

机翼理论数据还包括弦平面位置数据、梁平面位置数据、各个肋位置数据等,通过创成式外形设计工作台(GSD)完成。得到的包含全部理论数据的 Part 见图 3。

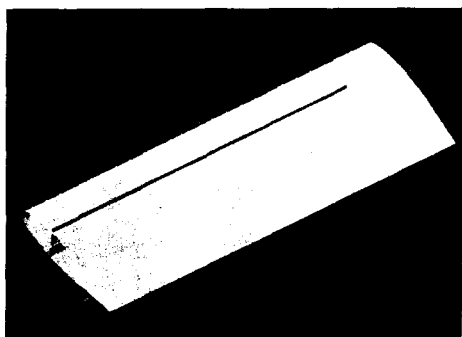


图 3 机翼结构理论数据

CATIA 强大的参数化设计功能可以将设计过程中出现的每一个数据作为后续设计的参数加以引用, 但为了设计的统一性和简便性, 应该在设计开始对全局相关的主要参数进行定义, 在后续设计中严格加以引用, 以保证当对全局参数进行修改时可以实现整个模型数据协调统一的自动更新。当前设定的全局参数为蒙皮厚度、梁板厚度、肋板厚度、肋缘宽度等十几项结构尺寸(图 4)。同时相关参数可以用函数形式给出, 如钣金件的折弯半径就以板材厚度的函数形式给出。定义好的参数将显示在结构树的相应位置, 便于后续设计中查找引用(图 5)。

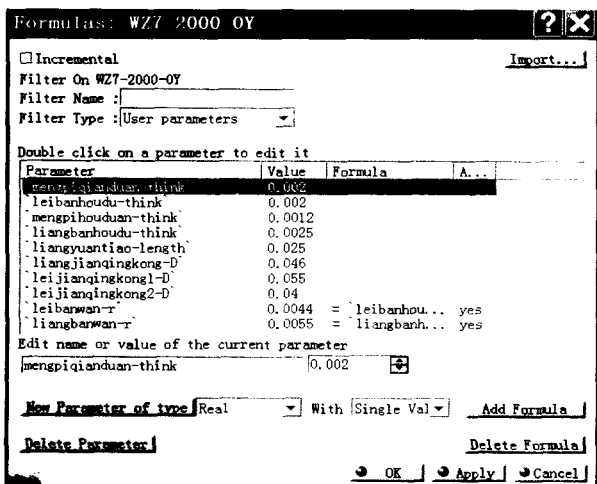


图 4 参数定义

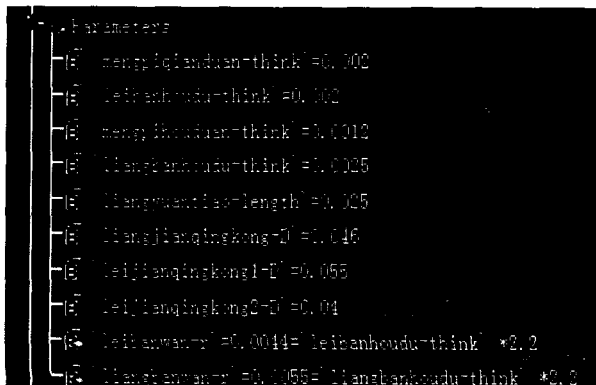


图 5 结构树参数显示

## 2.4 零件实体造型

机翼结构零件的特点是大部分零件的外形与机翼理论外形相关, 因此这一部分零件的实体造型应与整个机翼模型在相同的坐标系下完成, 这样既保证理论外形的关联, 又为以后的装配提供方便。

一个具体零件的结构尺寸或定位尺寸中, 所有在总体参数中已经定义过的尺寸都要严格由总体参数引用得到。如翼肋的外形就是由机翼理论外形偏置(offset)得到的, 偏置量为翼肋所在位置蒙皮的厚度。如图 6 所示, 翼肋外形由理论外形偏置 1.2 mm 得到, 被引用的总体参数同时显示在该 Part 所在的结构树上, 被引用的机翼理论外形曲面作为一个外部参考自动挂接在结构树的“External Referenes”下, 如果理论外形曲面发生更改, 翼肋外形将自动更新, 这在传统的平面图纸设计手段下不可想象。

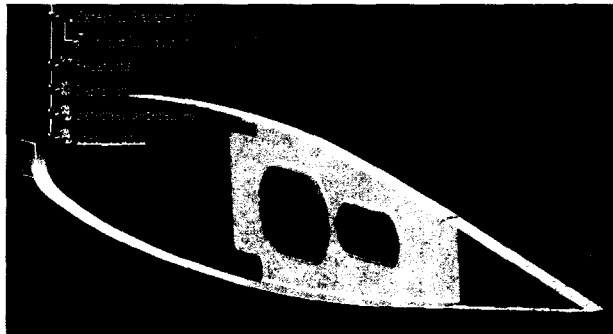


图 6 中段翼肋零件实体造型

同样如果蒙皮厚度更改, 如由原来的 1.2 mm 改为 3 mm, 则经过更新(update)后, 翼肋外形到机翼理论外形的偏置量将自动更改, 翼肋结构将变小。实体模型自动更新如图 7 所示。

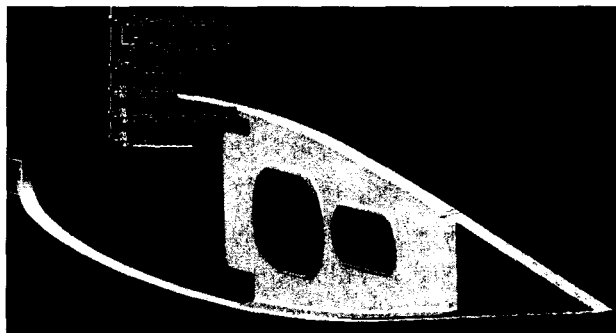


图 7 自动更新后的翼肋

由此可见, 零件实体造型部分最重要的就是保证相关参数引用的一致性。图 8 所示为全模型零部件关系, 图中右上角的“yixing.CATPart”即为用来定义总体参数和理论数据的 Part, 其他零件都与其保持参考关系。

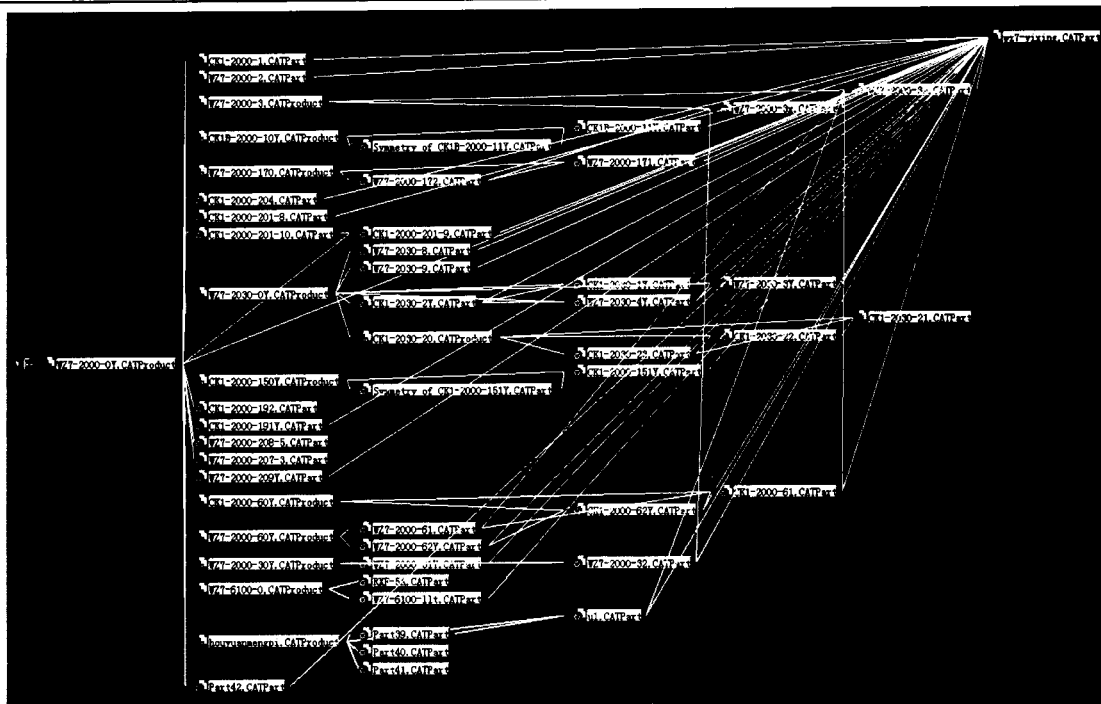


图 8 全模型零部件关系图

## 2.5 零部件装配

真实飞机生产过程中的机翼结构装配工作是在形架上完成的,只有这样才能保证机翼理论外形曲面的准确性,这对飞机的飞行性能至关重要。这也正是我们全部设计过程都要基于理论外形曲面进行的原因。只有各个零件的外形与理论外形曲面都保持协调一致,才能保证装配过程中相邻零件连接的吻合和不发生干涉。

CATIA 的装配模块 (Assembly Design) 提供一个理想的三维空间虚拟装配和干涉检查的工作环境。在建模前期工作打下良好基础的情况下,零部件的装配工作可得到一定简化,但应注意对每个零件的装配都应保证 6 个自由度的约束。整个机翼装配完成后,通过干涉检查可以发现前期设计中的错误、指导设计的更改。按照参数化方法建立的高质量的三维模型的更改是半自动的,完整的数据链上的一个尺寸被更改时,相关尺寸的更新将自动完成。这种在虚拟环境下的优化设计过程可以取代传统设计中的一部分试制工作,不仅经费节省,新机研制周期也大大缩短。

## 3 结束语

国防和经济建设步伐的不断加快,对飞机设计的研制周期提出了更高要求,计算机辅助设计的出现担负起这个时代的重任。同时各个领域对飞行器平台的广泛应用,又对飞机设计提出一机多用的新要求。在市场化竞争中,掌握随需而变的高效设计手段,是一个产品型号甚至一个企业生存的关键。本文例举的无人机型号自投产以来,针对使用方的要求进行过高空型、低空型、大机动型和挂载特殊任务设备等多个子型号的设计更改。每次改型工作都主要集中在对飞行性能影响最突出的机翼结构部分。基于机翼理论外形曲面的结构参数化设计的实现,为改型工作的准确高效提供保障,对今后其他型号的研制工作也具有很高的参考价值。

### 参考文献:

- [1]《飞机设计手册》总编委会编. 飞机设计手册: 第 10 册 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2001.
- [2] Dassault Systemes. CATIA V5R14 User's Documentation [K]. Dassault Systemes, 2004.
- [3] 曾洪江, 黄 聪. CATIA V5 机械设计从入门到精通 [M]. 北京: 中国青年出版社, 2004.