

# 飞机机翼结构三维几何模型快速建模方法研究

3D Layout Fast Modeling for Aircraft Wing Structure

北京航空航天大学 阿璐斯 席平



阿璐斯

北京航空航天大学硕士研究生, 主要研究方向为 CAD/CAM。

针对目前航空企业普遍采用 CATIA 软件进行设计的现状, 本课题对机翼结构几何模型的快速建模技术进行了研究, 结合参数化建模方法, 在 CATIA 软件平台开发了机翼结构快速建模系统。

几何模型, 通过对三维模型进行有限元分析来评估结构主要性能, 根据分析结果再对二维布局进行修改, 直到满足要求为止。因此, 打样设计是一个反复修改和逐步优化的过程, 此外打样设计确定的各零部件三维几何模型也是详细设计的基础。由于打样设计的迭代性和循环性, 从二维布局设计、修改到建立三维几何模型通常要耗费结构设计人员大量的时间, 影响了飞机的设计效率。因此实现打样设计的快速设计流程, 是提高设计效率的有效措施之一。

在快速建模领域中, 已有面向船体结构快速建模的研究<sup>[2]</sup>。针对飞机机翼结构设计, 罗明强等提出基于 ACIS 和 HOOPS 平台开发的工具集 OpenCADS<sup>[3]</sup>, 实现机翼结构和整体油箱的快速设计及参数化调整。但是 OpenCADS 与通用 CAD 软件集成时, 需要进行数据交换, 会产生几何

数据的缺陷<sup>[4]</sup>, 需要耗费大量的时间对有缺陷的几何数据进行处理。

针对目前航空企业普遍采用 CATIA 软件进行设计的现状, 本课题对机翼结构几何模型的快速建模技术进行了研究, 结合参数化建模方法, 在 CATIA 软件平台开发了机翼结构快速建模系统, 以机翼的外形曲面为输入, 根据二维布局, 快速生成机翼结构的三维几何模型, 实现快速打样设计, 为后续结构布局的优化设计、有限元分析和详细设计打下基础。

## 机翼结构参数化定义

机翼是飞机的升力面, 用来产生气动升力, 保证飞机在技术要求所规定的所有飞行状态下的飞行性能和机动性能。机翼结构是由骨架和蒙皮组成的薄壁加筋壳体, 其骨架主要由展向的翼梁、长桁和弦向的翼肋等

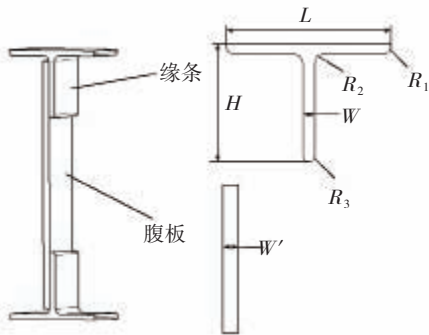
飞机结构设计任务是在总体设计的基础上, 设计出满足各项具体要求的结构。机翼结构设计是指根据指定的原始依据, 合理地选择各结构的受力形式, 确定结构元件的数量及尺寸, 布置主要受力构件, 其具体流程分为打样设计和详细设计 2 个阶段<sup>[1]</sup>。在打样设计阶段, 首先对元件进行二维布局设计, 然后建立三维

元件组成<sup>[4]</sup>。快速建模的关键就是要提取结构元件的几何特征和物理特性,定义相关设计参数,实现三维模型参数化描述和快速生成。

(1)翼梁:由缘条和腹板组成,具有贯穿上下翼面的几何特征。翼梁在弦平面上通常布置为直线,考虑到油箱容积及活动面的布置等因素,也可适当弯折,同时具体实现流程要考虑斜梁的情况。按照截面不同,缘条有多种形式可供选择,根据所选缘条设定截面各参数,此外腹板厚度和材料属性也作为建模参数。如图1所示,翼梁采用T型缘条,通过赋予参数不同的数值,可以得到不同几何尺寸的翼梁结构。

(2)长桁:作为机翼纵向元件,长桁和翼肋一起对蒙皮起支撑作用,外形和翼梁的缘条相似,但各参数值相对缘条要小。

(3)翼肋:翼肋构造上的功用是为了维持机翼剖面所需的形状。描述参数包括翼肋缘条厚度、翼肋腹板厚度和材料属性。通常为了减轻机翼重量,翼肋腹板上开有许多减轻孔,因此要考虑减轻孔的位置和形状等参数。



$L$	$H$	$W$	$R_1$
T型缘条截面长度	T型缘条截面高度	T型缘条截面厚度	T型缘条截面倒圆角半径1
$R_2$	$R_3$	$W'$	
T型缘条截面倒圆角半径2	T型缘条截面倒圆角半径3	腹板厚度	

图1 翼梁参数示意图

## 机翼结构快速建模

### 1 主要受力构件布置

结构件布置以机翼弦平面为基础,主要操作对象为翼梁、翼肋和长桁,为了保持翼形,在机翼前缘和后缘处布置构造线作为虚元。翼梁通常布置在机翼结构高度较大的位置,在系统中以直线或折线进行处理;翼肋包括顺气流布置和正交布置2种情况;长桁包括聚交式布置和平行布置2种情况。如图2所示,此机翼结构布置包括前梁和后梁2根直梁,翼肋在翼根附近采用平行布置,逐渐过渡到顺气流布置。

### 2 求交运算

真实机翼结构中的翼肋通常被翼梁隔断,长桁穿过翼肋和翼肋共同支撑蒙皮,同时翼梁和翼肋将蒙皮分组分块,因此系统需要进行

各结构件之间大量的几何求交计算,解决建模流程中的几何算法问题是实现成功建模的关键。由于在二维平面上求交比三维空间求交简单,所以本课题采用在弦平面上求交,再投影到三维空间的方法对各元件进行求交运算。具体流程如下:(1)根据输入时的顺序,为各结构元件线段创建起点和终点;(2)求出结构元件上所有交点,以起点为基准排序,判断是否存在重合交点,移除重合交点;(3)判断多边形封闭区域,方法是从某点出发,以顺时针方向判断另外三条线

段和当前线段的夹角,当夹角是锐角时存入列表,依次进行下去,等回到原点时即形成封闭区域,并输出验证结果。如图3所示,此时有一个四边形封闭区域,PtNum和EdgeNum分别表示围成四边形的点集和边集。

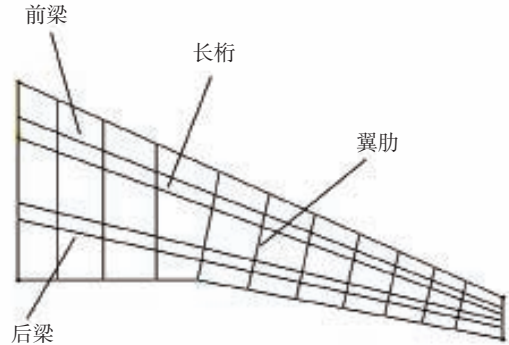
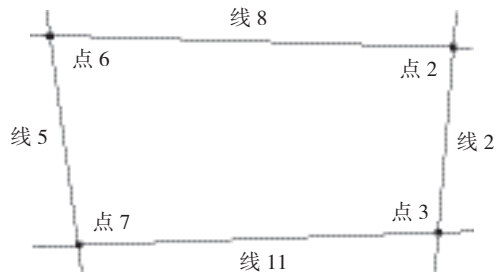


图2 机翼结构布置



PtNum	7	6	2	3
EdgeNum	5	8	2	11

图3 寻找相交封闭区域

### 3 几何特征参数库

通过CATIA的“智能模板\用户特征”模块分别创建翼梁缘条截面和长桁截面特征参数库,即使用“用户特征”功能对截面(草图)特征进行归类并重复使用。实际建模工作中,只需选择1个点和1个平面作为输入参数,即可自动化地生成翼梁缘条截面或长桁截面,减少设计人员在建模流程中的重复输入工作,大大提高了建模效率。

### 4 快速建模流程

根据不同结构元件的外形特点,采用灵活的建模方法,将各结构元件

从二维线段过渡到三维曲线曲面模型,最后生成三维实体几何模型,其流程如图4所示。

实现设计的全过程。本课题借助于CATIA CAA二次开发技术在CATIA平台下实现了机翼结构三维几何模

作生成机翼各结构部件的三维曲面模型。

(3)针对各结构部件的特点,整合CATIA“实体建模”模块的相关命令,将三维曲面模型转换为三维几何模型,至此机翼结构的几何模型创建结束(图6)。

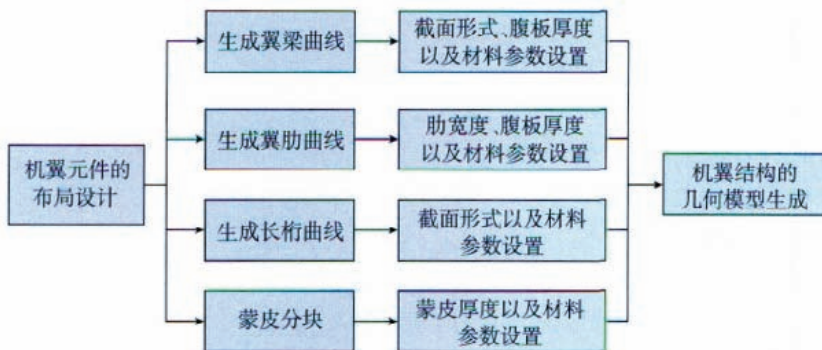


图4 机翼结构的几何建模流程

(1)机翼结构的几何建模数据准备。根据机翼结构元件的布局形式,通过投影的方式沿翼展方向向上下翼面求出翼梁和长桁曲线,沿弦向方向向上下翼面求出翼肋曲线,根据翼梁曲线、长桁曲线、翼肋曲线对蒙皮进行分块。

(2)机翼结构的参数。机翼结构的参数包括翼梁缘条和长桁的截面形式、翼梁腹板厚度、翼肋腹板厚度、翼梁缘条材料、翼梁腹板材料、翼肋材料、长桁材料、蒙皮厚度、蒙皮材料等。

(3)机翼结构的几何建模。翼梁的建模流程:根据指定的上下缘条的截面形式,按照翼梁在上下翼面上的曲线扫描生成缘条,然后根据缘条位置,生成腹板。长桁的建模流程:根据指定的截面形式,按照长桁在上下翼面上的曲线扫描生成长桁。翼肋的建模流程:按照翼肋的布局位置,根据翼肋在弦平面上的位置,向上下翼面方向进行拉伸生成曲面,并对翼肋曲面进行分割处理,然后生成加厚实体模型,再根据翼肋腹板厚度对加厚实体进行抽壳处理,生成翼肋。

### 应用实例

基于上述提出的设计思想,编程

型的快速生成,实现流程如下:

(1)读取机翼外形曲面并选择弦平面作为打样设计的草图平面,对各元件进行二维布局,其中不同颜色的线段表示不同的元件,这些元件的设计流程中充分利用了CATIA草图模块中的几何约束和尺寸约束,实现布局设计的精确定位。

(2)通过整合CATIA“创成式外形设计”模块中的相关命令,将机翼结构二维布局线段转化为三维空间的线段,并使用翼梁曲线、翼肋曲线和长桁曲线对蒙皮进行分块操作(图5);根据机翼结构参数化几何特征库,选择翼梁缘条和长桁的截面形式,通过扫描、拉伸和分割等几何操

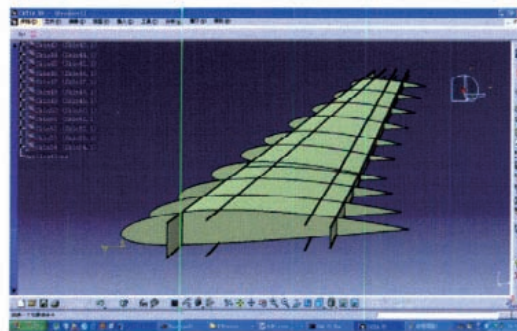


图5 生成机翼结构三维曲面模型

### 结束语

本课题对飞机机翼结构三维几何模型的快速生成技术进行了研究,重点阐述了翼梁、长桁和翼肋的参数化描述方法及三维几何模型的实现流程,开发了快速建模工具——机翼结构快速建模系统。本系统以

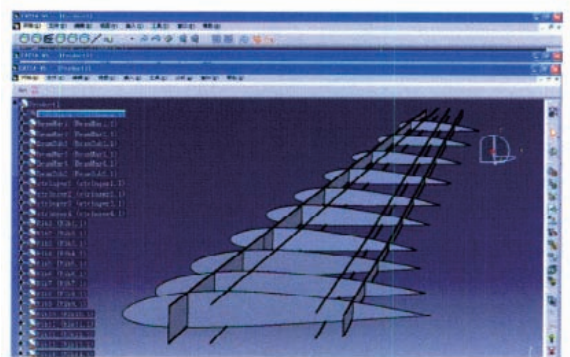


图6 生成机翼结构三维几何模型

CATIA CAA二次开发作为技术手段,将快速建模工具无缝集成到了CATIA软件环境中,能够实现机翼结构从二维布局向三维几何模型的快速转化,从而提高打样设计的工作效率,为后续的详细设计打下基础。

### 参考文献

[1]王志瑾,姚卫星.飞机结构设计.北京:国防工业出版社,2007.  
 [2]战翌婷,纪卓尚,陈明,等.船体结构快速建模系统研究.武汉理工大学学报,2009,33(1):37-40.  
 [3]罗明强,冯昊成,刘虎,等.民用飞机机翼结构快速设计及自动化调整.北京航空航天大学学报,2009,35(4):468-479.  
 [4]高曙明,何发智.异构CAD系统集成技术综述.计算机辅助设计与图形学学报,2009,21(5):561-568. (责编 良辰)