

飞机设计曲面快速分割程序开发与应用

Development and Application of Program for Rapid Dividing Surfaces in Aircraft Design

中航工业沈阳飞机设计研究所 陈小鹏 沈晓东 魏星 杨丽娜

[摘要] 阐述了基于 CATIA V5 系统进行二次开发,将飞机设计过程中需要在 CAE 分析软件中进行有限元网格划分的曲面在 CATIA 中实时分割成多个区域的实现方法。针对包含多个待分割曲面的数模文件,程序利用该文件中的曲线集合对所有的曲面进行区域分割,剔除噪声元素后得到分割结果,并保持分割结果与原始曲面的关联关系。在减少手工操作时间、实现与设计数据的同步更新、提高 CAE 分析工作的效率等方面取得明显效果。

关键词: 快速区域分割 噪声曲线 关联关系

[ABSTRACT] This paper expounds the method of rapid dividing surfaces which will be meshed in CAE software into several areas based on CATIA. Aiming at the part document that contains a plurality of surfaces, the software can use lines in geometrical set named "Line" to divide all surfaces and eliminate noise element, then we can get the surfaces which maintain relationship between segmentation results and the original surfaces. It can make great progress in reducing manual operation, updating data synchronously and improving efficiency of CAE analysis.

Keywords: Rapid region dividing Noise line
Linked relation

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S2.074

有限元分析(Finite Element Analysis, FEA)是指利用数学近似的方法对真实物理系统进行模拟,其核心思想是结构的离散化,即将实际结构假想地离散为有限数目的规则单元组合体,对实际结构的物理性能,可以通过对离散体进行分析,得出满足工程精度的近似结果来替代对实际结构的分析。有限元法求解问题的基本过程主要包括:分析对象的离散化、有限元求解、计算结果的后处理三部分。

当今有限元分析软件与通用 CAD 软件(如 CATIA)的集成使用已成为一种发展趋势。用 CATIA 软件完成零部件的造型设计后,直接将模型传送到 CAE 软件中进行有限元网格划分并进行分析计算,如果分析的结果不满足设计要求则重新进行设计和分析,直到满意为

止。由于有限元网格划分后的网格质量直接影响到求解时间及求解结果的精确度,各 CAE 软件开发商都加大了其在网格处理方面的投入,使网格生成的质量和效率都有了很大的提高^[1]。

但对于许多工程实际问题,在求解过程中直接对外形曲面、零件表面等具有复杂几何形状的结构进行网格划分,可能会引起某些单元畸变,造成求解发散。因此在对全机或部件进行结构有限元分析前,应事先将曲面按分析需要切割成较小区域,以便后期采用 CAE 软件进行网格划分的时候,可以在紧要区域(通常为应力最大的区域)将网格划分得更密更多,足够多的网格划分将使计算结果收敛(收敛是指随着单元数量的增加,计算结果趋于精确值)。

1 程序的功能架构

本程序基于 CATIA V5 进行二次开发,对飞机外形曲面和结构承力件的表面进行快速区域分割,主要用于飞机部件级的结构 CAE 分析的前期准备工作。

飞机产品大部件下包含多个数模文件,单个数模文件内需要分割的外形曲面和结构承力件的表面可能有几十个,用以分割的参考曲线可能有几百条,如果直接利用 CATIA 的曲面分割功能进行一次性分割,可能会因逻辑错误造成求解失败。因此,需要设计人员认真分析曲面与曲线的空间位置关系,规划分割顺序,逐条曲线逐个曲面地进行迭代分割,耗时较多,效率低下,且极易造成重复或疏漏。

为了提高设计人员的工作效率,通过程序开发批量完成飞机部件下所有数模文件中的曲面分割工作,同时保留分割后的曲面与原来曲面的链接关系,以便在曲面设计更改后,分割后的曲面可同步更新。

程序架构主要包括 3 部分:

(1)数模文件预处理:考虑部件的结构布置和连接形式等因素,抽取待分割曲面与分割曲线,并按约定的格式设置到零件结构树上;

(2)界面设计:在 CATIA V5 的“创成式曲面设计”模块中创建程序的启动界面;

(3)区域分割:利用数模中的多条曲线对多个曲面

进行迭代分割,分割完毕后隐藏中间过程元素,提取最终的分割结果。如果分割曲线是噪声曲线(噪声曲线是指不在任何表面上的空间游离曲线,或者虽然在某一表面上但短小未达曲面边界的曲线),程序将进行自动忽略,不作为分割依据。如果数模中的分割曲线、待分割曲面数量太多,模拟分割时会占用大量的内存资源,造成 CATIA 崩溃,为此采用多批次分割的方式,及时释放系统资源。

1.1 数模文件预处理

对飞机部件的数模文件进行预处理,抽取待分割曲面与分割曲线,并按约定的格式设置到零件结构树上,要求曲线和曲面均相互独立,不存在关联关系。

以下为必须完成的预处理:将待分割曲面放置到“Surface”几何图形集;将分割用的曲线放置到“Line”几何图形集。

以下为可选操作(可由程序在处理过程中自动完成):创建放置曲面切割过程和切割结果的“Coach”和“Result”几何图形集;删除噪声曲线。

1.2 界面设计

利用 CATIA 系统提供的二次开发接口,对 CATIA 原有的曲面分割功能作扩展开发,并将开发的程序无缝集成到“创成式曲面设计”模块的菜单和工具条中。

设计人员在 CATIA 中完成曲面设计后,可直接执行区域分割命令,分割完毕后可直接将数模传送到 CAE 软件中进行有限元网格划分,并进行分析计算。

1.3 区域分割方法

程序处理的核心思想是:用“Line”几何图形集内的所有曲线依次模拟迭代分割“Surface”几何图形集内的曲面,如果模拟分割失败则取消本次分割;将模拟分割的曲面放置在“Coach”几何图形集内,分割完成后将符合要求的曲面片从“Coach”分析筛选出来,以保持链接的方式拷贝到“Result”几何图形集内,并隐藏分割过程。针对复杂数模,为防止模拟分割过程占用太多内存资源而引起 CATIA 崩溃,采用多批次分割、及时释放内存资源的策略,管控 CATIA 处理进程。

将预处理过的所有数模文件放在文件夹中,程序从该文件夹中搜索出所有文件并添加到待处理列表中,然后对列表中的数模文件逐个进行区域分割处理。

程序创建 4 个链表“_ListResultCoach”、“_ListSurface”、“_ListLine”、“_ListResult1”,分别存储分割过程曲面的集合、待分割曲面的集合、分割曲线的集合、分割后曲面的集合。

针对每个数模文件,程序的处理过程见图 1。

(1)搜索“Line”几何图形集,将下属的曲线添加到链表“_ListLine”中;搜索“Surface”几何图形集,将下

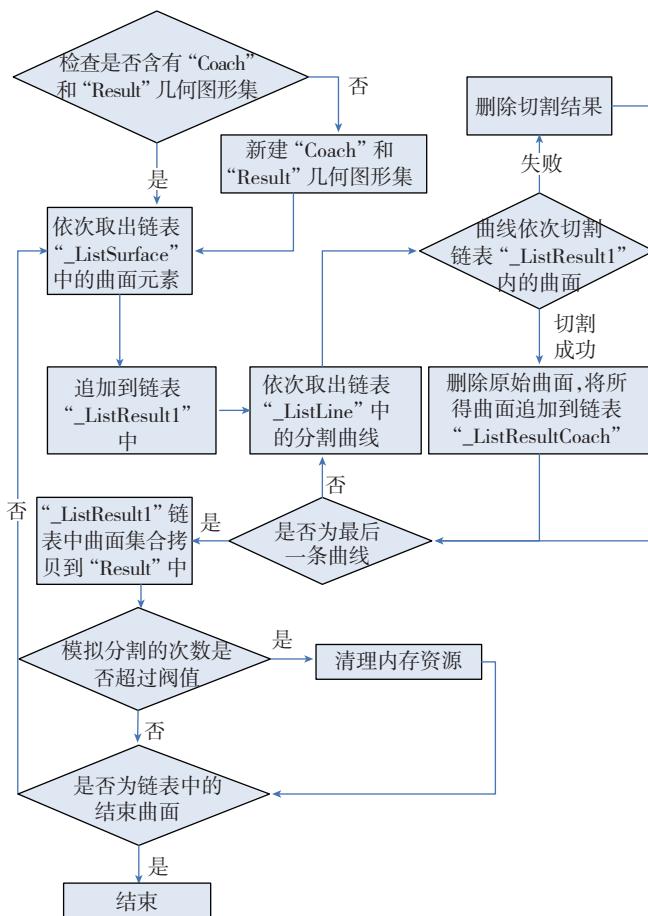


图1 流程梳理流程图

Fig.1 Flow chart of program process

属的曲面添加到链表“_ListSurface”中;

(2)检查零件结构树上是否已经存在“Coach”和“Result”几何图形集:如果不存在则直接创建;如果已经存在则将这两个几何图形集下的所有元素删除;

(3)将链表“_ListSurface”中的元素依次取出,对取出的曲面元素做如下操作:

步骤 1:追加到链表“_ListResult1”中。

步骤 2:依次取出链表“_ListLine”内的分割曲线,针对每条分割曲线:

- 依次切割链表“_ListResult1”内的曲面,如果系统更新失败则删除本次切割结果,并转入对下一个曲面的切割过程;如果本次切割成功,系统从链表“_ListResultCoach”中搜索并删除本次切割的原始曲面,将本次切割所得的两个曲面追加到链表“_ListResultCoach”中,转入对链表“_ListResult1”下一个曲面的处理,直至处理完毕。

- 如果链表“_ListResultCoach”非空,则将此链表赋值给“_ListResult1”,然后转入下一条分割曲线的处理过程。

步骤 3 : 将链表 “_ListResult1” 中的曲面集合以保持链接的方式拷贝到 “Result” 几何图形集中。

步骤 4 : 清空链表 “_ListResultCoach”、“_ListResult1”, 如果模拟分割的次数超过设定值, 则立即清理内存资源, 并转入下一批次的曲面处理; 否则直接转入 “_ListSurface” 下一个曲面的处理。

(4) 结束曲面分割处理, 保存文档。

2 实例应用与结果分析

基于以上研究, 开发了一套用于飞机设计曲面快速区域分割的 CATIA 功能插件。下文以某型飞机的机身结构部件为例, 介绍本功能插件进行曲面快速区域分割的一般过程。

首先设定进行区域分割及网格划分的原则:

(1) 分割元素的选定基于机身承力构件的布置, 与结构的真实连接和传载形式相符合;

(2) 为便于结构方案的快速对比和调整, 应根据分析精度要求对曲面形状进行简化;

(3) 可有效利用结构的重复性和对称性, 压缩计算机存储资源需求, 减少计算时间。

参照如上原则, 综合考虑部件的结构布置和连接形式等因素, 对数据进行预处理。

对于机身维护口盖处的开口区, 由于破坏了结构的完整性和连续性, 削弱了局部承载能力, 需重点分析以便于制定补强措施; 对于噪声曲线, 功能插件将自动识别并进行处理, 不必强制清理。最终设置分割曲线 855 条, 设置待分割曲面 227 片, 如图 2 所示。

运行区域分割功能插件, 开始区域分割。系统运行约 180min, 迭代分割百万次以上, 最终筛选出 1719 个曲面片作为分割结果。处理完毕后自动隐藏中间元素, 仅显示最终结果, 如图 3 所示。

对分割结果曲面片分析发现与筋条、隔板等保持链接关系。开口区等关键部位的处理满足要求, 噪声曲线被自动忽略, 处理结果可直接在 CAE 软件中进行有限元网格划分及分析计算。

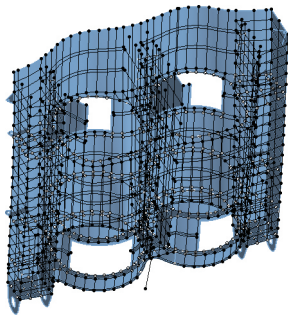


图2 设置分割对象

Fig.2 Setting of divided object

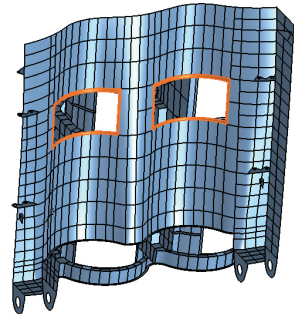


图3 区域分割结果

Fig.3 Result of area dividing

3 结论

对飞机设计曲面快速区域分割的功能插件, 与 CATIA 系统无缝集成, 处理结果能够直接用于 CAE 分析; 免去了复杂的手工分割操作, 杜绝了人为疏漏和错误曲面的出现; 分割后的曲面与原始曲面保持关联关系, 原始曲面设计更改后, 分割后的曲面可同步更新。综上, 本功能插件可有效改善飞机设计曲面区域分割工作的质量和效率, 预期能够成为飞机部件结构 CAE 分析的得力工具。

参考文献

[1] 王华侨. 结构有限元分析中的网格划分技术及其应用实例. CAD/CAM 与制造业信息化, 2005(1):42-47. (责编 李丹)

(上接第 73 页)

在批产阶段对提升产品装配交付速率行之有效并起到关键作用。除此之外, 还可利用托板螺母钻模等自制工具来提高生产速率。

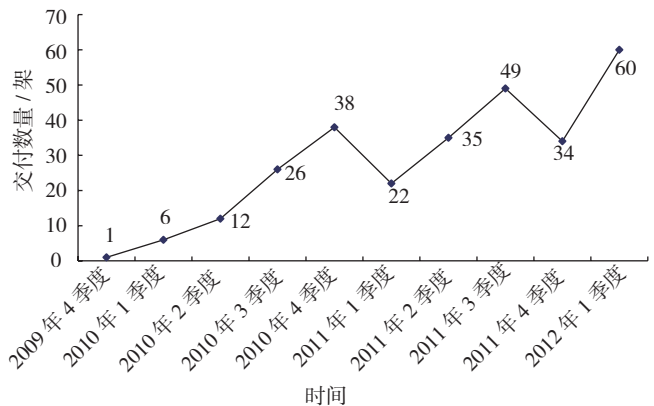


图8 产品交付统计

Fig.8 Statistics of product delivery

参考文献

[1] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001:11-14.
 [2] 程控, 革扬. MRP/ERP 原理与应用. 第 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2006:198-200. (责编 李丹)