

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.04.010

基于 OPTISTRUCT 平台的某飞机 摇臂结构优化设计

Structure Optimization for Crank Based on OPTISTRUCT

周松官 / ZHOU Songguan

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

结构优化设计是将结构重量、结构强度和材料布局等进行最优统筹规划的手段。该文基于 Altair Optistruct 软件平台,针对一种常见的飞机襟翼摇臂结构,首先,使用拓扑优化方法获得摇臂的初步结构形式;其次,通过尺寸优化方法得到摇臂结构的大致尺寸;最后,综合考虑强度、刚度、加工工艺及材料利用率等因素,确定出优化后的摇臂结构。

关键词:结构优化;Optistruct;摇臂;拓扑优化;尺寸优化

中图分类号:V215.6

文献标识码:A

OSID:



[Abstract] Structure optimization is an overall plan method that balances structure weight, structure strength and material distribution to the greatest extent. In this document, we firstly execute topological optimization method on a usual aircraft's flap crank to acquired the primary form of structure based upon Altair Optistruct, then use size optimization method to obtain the approximate size of crank, and lastly get an optimal crank by considering strength, stiffness, technics and utilization of material.

[Keywords] structure optimization; Optistruct; crank; topological optimization; size optimization

0 引言

结构优化是现代结构设计技术中的一种方法,该方法结合了现代计算力学、数值分析与数学规划理论,并以计算机为载体,能够自动地寻求满足各种约束条件的最优结构。优化设计有三要素,即设计变量、目标函数和约束条件。设计变量是在优化过程中发生改变而提高性能的一组参数;目标函数就是要求的最优设计性能,是关于设计变量的函数;而约束条件是对设计的限制,是对设计变量和其他性能的要求。在结构优化设计中经常使用的约束有强度约束、刚度约束、位移约束、稳定性约束等。

结构优化根据设计阶段可分为概念优化设计和详细优化设计,概念优化设计主要用于概念设计阶

段,采用拓扑、形貌和自由尺寸优化技术得到结构的基本外形;在详细设计阶段中,在满足产品性能的前提下采用尺寸、形状和自由形状优化技术改进结构特征。

目前,结构优化设计已被广泛应用于航空航天、汽车、船舶、建筑等领域。随着各方面技术的不断发展与更新,结构优化设计技术将得到更广泛的应用。

1 OPTISTRUCT 结构优化介绍及优化流程

Altair Optistruct 是一个面向产品设计、分析和优化的求解器。Optistruct 是以有限元法为基础的结构优化设计工具,提供了拓扑、形貌、尺寸、自由形状等优化方法。Optistruct 采用局部逼近的方法来

求解优化问题,其迭代过程如下:

- 1) 采用有限元法模拟物理问题;
- 2) 结果收敛性判断;
- 3) 设计灵敏度分析;
- 4) 利用灵敏度信息得到近似模型,求解近似优化问题;
- 5) 返回第一步。

Optistruct 结构优化设计流程如图 1 所示。

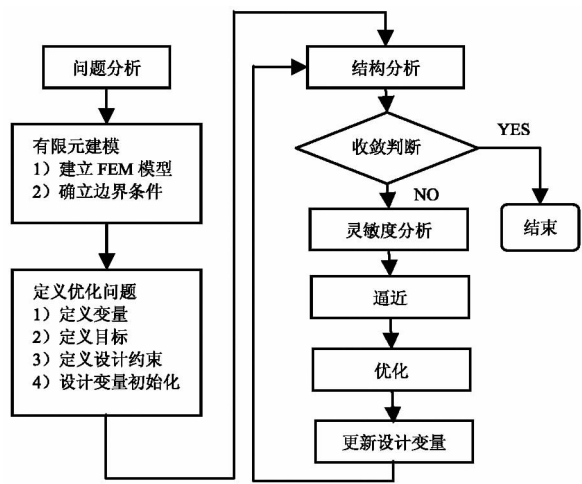


图 1 Optistruct 结构优化设计流程图

2 摇臂结构优化

2.1 问题描述

摇臂本体结构包含缘条、腹板、加强筋和接头,初始摇臂结构示意图如图 2 所示。在保证摇臂结构基本构型不变,且强度、刚度满足要求的前提下,对摇臂本体进行结构优化设计,使其重量最轻。

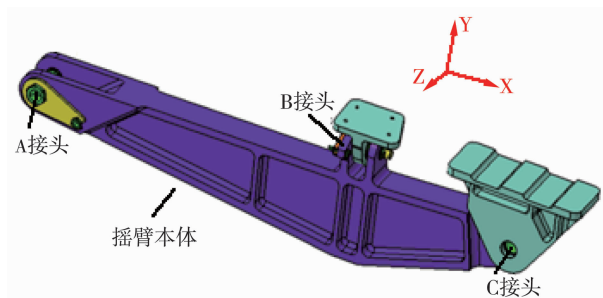


图 2 原始摇臂结构示意图

具体设计要求如下:

- 1) 位移边界条件: B 接头沿 Y、Z 方向位移设置为 0, C 接头沿 X、Y、Z 方向位移设置为 0;
- 2) 载荷边界条件: B 接头沿 X、Y 方向载荷分布

设置为 4 610 N 和 24 002 N;

3) 强度要求: 材料的极限强度为 510 MPa, 抗剪强度为 310 MPa, 抗压屈服强度为 450 MPa;

4) 刚度要求: A 接头变形位移不超过 9.68 mm。

2.2 设计思路

基于 Altair Optistruct 软件平台, 首先通过拓扑优化方法探索出摇臂本体中的腹板和加强筋的分布规律, 并对摇臂结构材料分布做出初始的规划; 然后通过尺寸优化确定摇臂结构各部位的厚度分布, 得到最终的摇臂结构。

2.3 结构拓扑优化

根据原始摇臂结构数模以及设计要求中的位移和载荷边界条件, 使用 solid 单元建立摇臂有限元模型。

摇臂本体结构的有限元模型划分为不可设计区域(摇臂三个接头区域)和可设计区域(除接头外的剩余区域), 如图 3 所示。

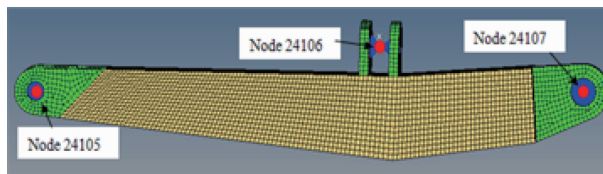


图 3 包含可设计区域和不可设计区域的网格模型

拓扑优化问题描述如下:

- 1) 目标: 体积最小化。
- 2) 约束: 施加载荷的节点 24105 总变形位移不大于 9.68 mm。
- 3) 设计变量: 单元密度。

经 Optistruct 拓扑优化迭代计算, 取密度值 0.3, 得到优化后摇臂结构等值面图如图 4 所示。从图 4 可看出摇臂结构上的传力路径, 以及材料的分布情形。且优化后, 节点 24105 处的最大位移为 9.68 mm, 满足约束条件。

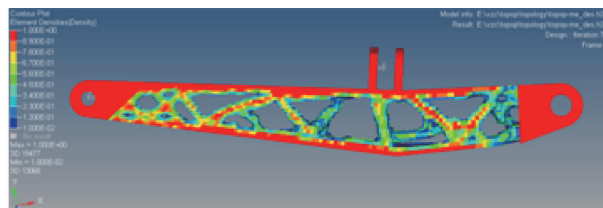


图 4 摇臂拓扑优化 0.3 等值密度图

2.4 带位移约束的尺寸优化

根据 2.3 节完成的拓扑优化结果, 并考虑加工

工艺要求,获得拓扑优化后的摇臂有限元模型如图 5 所示,该模型中给出了摇臂加强筋(即图中的肋)的分布形式,并通过建立的 6 根加强筋将摇臂腹板分成 7 块区域(摇臂结构有限元模型使用 shell 单元建立)。

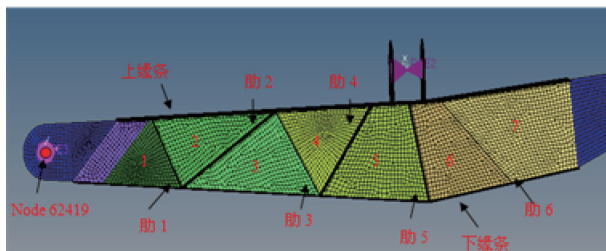


图 5 尺寸优化有限元模型

在节点 62419 处施加位移为 9.68 mm 的约束,进行尺寸优化,优化目标是尽可能节省材料。

优化问题描述如下:

1) 目标:体积最小化。

2) 约束:加载点 62419 处的变形位移不超过 9.68 mm。

3) 设计变量:摇臂的上缘条、下缘条、腹板和加强筋单元厚度。

经迭代计算,得到厚度分布如图 6 所示。优化后的结构在节点 62419 处的最大位移为 9.68 mm,满足约束条件。但从图 7 所示的 Von-mises 应力分布可知:优化后的结构应力超过了材料强度极限 510 MPa,不满足要求,因此需要进一步优化。

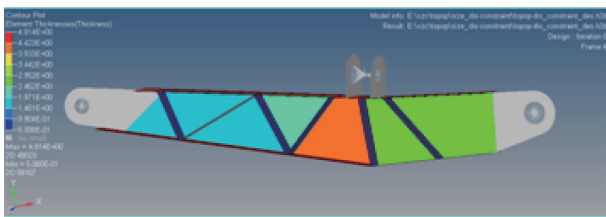


图 6 位移约束的尺寸优化后摇臂厚度分布

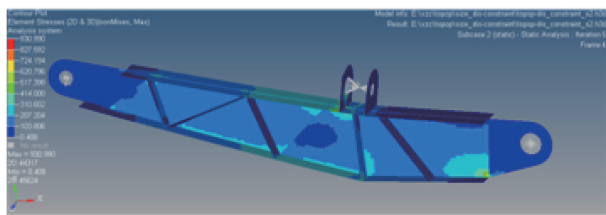


图 7 位移约束的尺寸优化 Von-mises 应力分布

2.5 带应力约束的尺寸优化

用位移约束进行优化得到的结构应力太大,需

要在此基础上进一步进行带应力约束的尺寸优化,以满足强度要求。同时为避免摇臂结构失稳,对各结构应力水平进行限制。

优化问题描述如下:

1) 目标:体积最小化。

2) 约束:腹板的 Von-mises 应力不大于 250 MPa,各加强筋的 Von-mises 应力不大于 200 MPa,上、下缘条的 Von-mises 应力不大于 450 MPa。

3) 设计变量:设计区域单元厚度。

经迭代计算,得到摇臂厚度分布如图 8 所示。摇臂各部位均满足强度要求,且节点 62419 处的变形位移为 5.84 mm,满足刚度的要求,如图 9 所示。

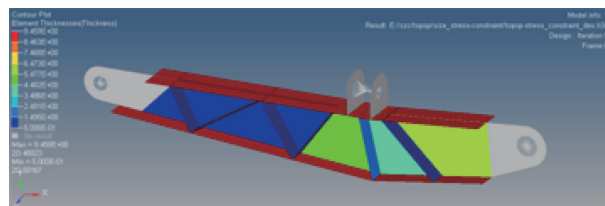


图 8 应力约束的尺寸优化摇臂厚度分布

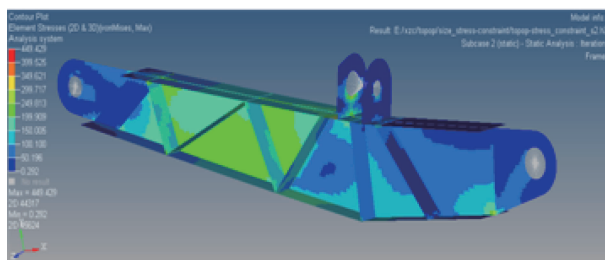


图 9 应力约束的尺寸优化 Von-mises 应力分布

2.6 最终摇臂结构确定

综合拓扑优化和尺寸优化所得结果,对比其中的应力分布情况,并考虑加工的便利性以及提高材料利用率,需对优化后的结构进行局部调整:在高应力区域进行局部增强,同时在腹板上设置减重孔,并适当增强加强筋和缘条,得到最终优化的摇臂结构,如图 10 所示。

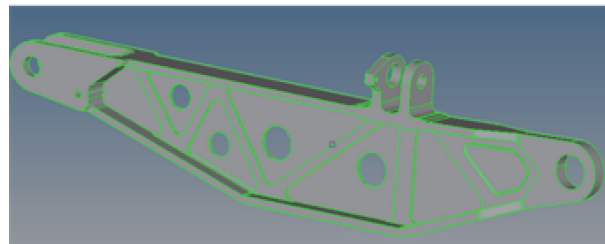


图 10 最终优化的摇臂结构

对优化后的摇臂结构进行有限元计算,得到摇臂在 A 接头处的最大变形位移为 8.67 mm,满足刚度要求。摇臂结构有限元模型的 Von-mises 应力分布见图 11,最大剪应力分布见图 12,摇臂结构各部位静强度计算结果见表 1。从表 1 可知,优化后的摇臂各结构满足强度计算。

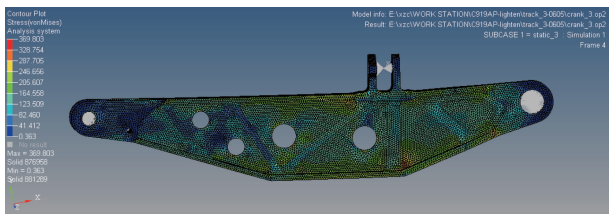


图 11 优化后的摇臂结构 Von-miese 应力分布

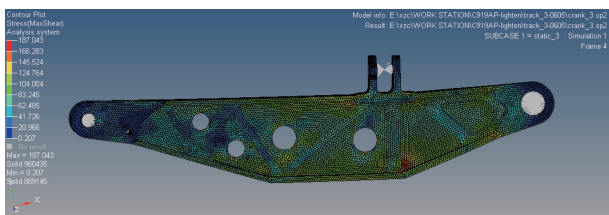


图 12 优化后的摇臂结构最大剪应力分布

表 1 优化后的摇臂结构静强度计算结果

计算部位	破坏类型	工作应力 /MPa	许用应力 /MPa	安全裕度
上缘条	压缩破坏	300	434	0.45
下缘条	受拉破坏	250	510	0.63
腹板	剪切破坏	187	310	0.66
加强筋	压缩破坏	160	434	1.71

3 结论

本文基于 Altair Optistruct 软件,首先通过结构拓扑计算完成摇臂结构的拓扑优化,给出摇臂腹板与加强筋的初步布置方案;然后分别通过有位移约束和有应力约束的尺寸优化计算以确定出摇臂各部位的厚度分布;最后综合考虑强度、刚度、加工工艺及材料利用率等多种因素,确定出摇臂的最终结构,并得到如下结论:

- 1)通过拓扑优化计算可以清楚地判断出结构上的传力路径和材料利用情况,为结构的加强筋和开孔设计提供分析依据;
- 2)要得到可行的尺寸设计方案,需要进行多种带约束的尺寸优化计算,再综合考虑各种主要因素影响,才能获得合理的结构设计方案。

参考文献:

[1] 张胜兰,郑冬黎,郝琪,等. 基于 HyperWorks 的结构优化设计技术[M]. 北京:机械工业出版社,2007:4-5.
[2] 陈建军,曹一波,段宝岩. 基于可靠性的桁架结构拓扑优化设计[J]. 力学学报,1998(3):21-28.
[3] 李芳,凌道盛. 工程结构优化设计发展综述[J]. 工程设计学报,2002(5):229-235.
[4] 牛春匀. 实用飞机结构设计[M]. 北京:国防工业出版社,1991:570-573.

作者简介

周松官 男,硕士,工程师。主要研究方向:飞机结构强度设计。E-mail: zhousongguan@comac.cc