

某型飞机机翼结构多参数综合优化设计

王 维¹, 王维阳²

(1. 海军驻沈阳地区航空军事代表室, 辽宁沈阳 110034; 2. 沈阳飞机设计研究所, 辽宁沈阳 110035)

摘 要 在翼尖位移、平均应力水平、模态频率均满足设计要求的情况下, 通过软件演算对三墙形式机翼结构的多项参数属性进行联合调整从而达到结构质量最小、尺寸最优的设计目的, 并得到理想的多参数综合优化分析正向设计结果。

关键词 仿真分析; 有限元; 多参数; 优化

中图分类号: V221 文献标识码: A 文章编号: 1671-7597(2014)18-0028-03

某型飞机采用全新的气动外形和结构布局, 特别是机翼的翼展较长, 气动载荷导致机翼的剪力和弯矩越靠近翼根越大^[1], 导致其机翼翼尖位移较大、翼根应力水平偏高等问题, 为后续的翼面强度设计带来一定难度。首先采用 Altair HyperWorks^[2] 大型工程结构分析软件的 HyperMesh 模块对飞机三墙形式的机翼结构进行有限元数值仿真分析, 然后运用 OptiStruct 模块针对金属状态的机翼结构进行多参数设计优化, 最终使机翼结构在满足强度、刚度、动力学要求的同时, 达到结构承载最优化、结构重量最小化的理想设计形态。该研究方法和结论可应用于相关结构的方案制定和优化设计。

1 模型细化仿真分析

1.1 模型说明

该飞机机翼模型采用三墙结构与机身连接, 其主要承载结构由 1~3 墙、边肋、1~19 肋、前肋、襟副翼及上下壁板构成, 机翼翼展 16 m, 单侧机翼质量 $mass=403.4$ kg (不考虑襟副翼的蜂窝结构质量)。机翼结构原有限元模型采用 Pastran^[3] 软件进行设计建模, 单侧机翼模型节点数 534、单元数 731。机翼模型共有 31 种载荷计算情况, 其中第 23 种载荷情况翼尖位移最大 $disp=4.414$ m, 为翼展长度的 27.6%。

为了达到理想的优化效果, 首先要将有限元模型进行深度细化。采用 Altair HyperWorks 软件的 HyperMesh 模块进行如下操作, 细化后模型节点数 35984、单元数 44045。

- 1) 将模型中的 shear 单元全部更改为 shell 单元。
- 2) 将模型复合材料结构进行全金属修正。
- 3) 细化有限元模型并进行试算检查。

1.2 模型全金属化

为了便于飞机三墙形式机翼结构的初步分析, 对分析模型的复合材料部分进行全金属结构修正, 复合材料部分主要有机翼蒙皮、前缘蒙皮、襟副翼蒙皮和蜂窝结构。在将复合材料单元设定成金属材料 7B04 的同时, 按照等强度等刚度原则将单元赋予的厚度属性也同样进行相应调整。

1.3 模型有限元细化

将 Pastran 有限元模型导入 Altair HyperWorks 软件, 并通过 HyperMesh 模块对原模型进行有限元细化处理。通过对细化模型的试算检验有如下发现。

1) 细化后模型翼尖位移与细化前的结果有所偏差, 例如在第 23 种载荷情况下, 机翼模型翼尖位移细化前与细化后的结果分别为 4414 mm、4660 mm, 相差 5%。究其原因, 认为随着结构单元的细化, 模型的一个单元被分解为多个单元的集合, 其自

身强度被间接削弱, 但削弱程度在允许范围内。

2) 细化后机翼模型整体应力水平与原模型相当, 应力分布见图 1。发现模型的局部壁板存在失稳隐患, 这在原模型中是发现不到的, 见图 2。



图 1 机翼应力分布

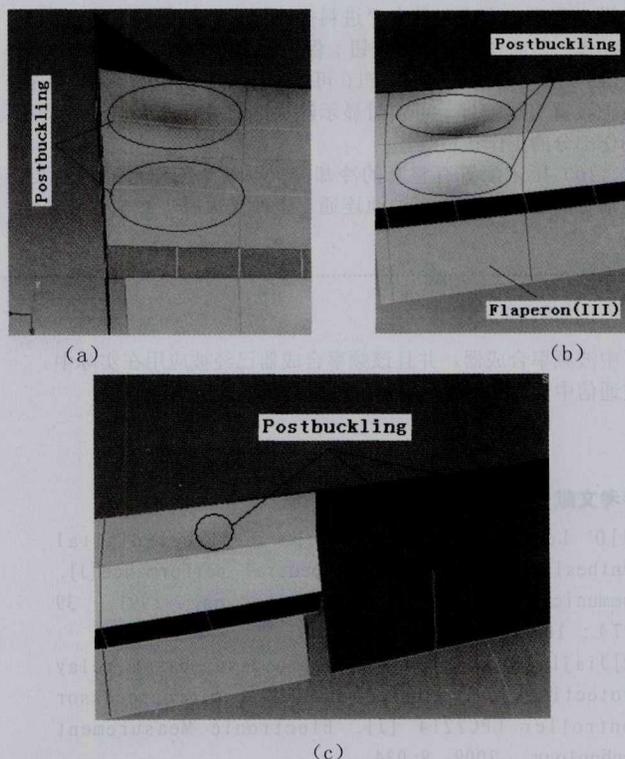


图 2 机翼壁板局部失稳

2 多目标综合优化

2.1 优化设计参数

要进行优化设计,首先要了解优化问题的三要素^[4]:目标函数(Objective)、设计变量(Design Variables)、设计约束条件(Design Constraints),即通过设定设计约束条件,在给定范围内调整设计变量,从而由计算系统进行迭代运算最终达到目标函数的综合设计最优解。

本文研讨的结构多参数属性是设计变量的主要组成部分。其运算机理为运用OptiStruct模块,以质量最小化为目标、限定设计约束条件、允许平台系统自主调节1~3墙腹板厚度、边肋~19肋腹板厚度、机翼蒙皮厚度、长桁截面积等多项结构尺寸参数属性,通过系统迭代运算得到多项结构尺寸参数属性最优解。

2.2 算例1:多参数情况下调整设计约束条件

表1 计算结果数据汇总

设计约束条件		设计变量	目标函数
应力 stress MPa	翼尖位移 disp mm	厚度 δ / 截面积 Area mm/mm ²	质量 mass kg
初始状态	4660 ^①	初始状态	403.4
490	< 4660	0.5 < δ < 20; 20 < Area < 400; 共计108个	321.1
390	< 4660	0.5 < δ < 20; 20 < Area < 400; 共计108个	336.4
390	< 3200 ^②	0.5 < δ < 20; 20 < Area < 400; 共计108个	425.2
325	< 4660	0.5 < δ < 20; 20 < Area < 400; 共计108个	365.3
130	< 4660	0.5 < δ < 20; 20 < Area < 400; 共计108个	744.2

注: ①为机翼有限元细化模型第23种载荷情况下翼尖最大位移。②为机翼翼展的20%。

初始细化模型信息(参见1.1节):翼尖最大位移 max(disp) = 4660 mm(第23种载荷情况),机翼质量 mass = 403.4 kg。

尝试限定不同的设计约束条件,考察机翼强度储备与结构重量之间的关系,见表1、图3。其中设计材料7B04的 $\sigma_b = 490$ MPa,本文分别计算许用应力 $[\sigma] = 490、390、325、130$ MPa四种结果,认为 $[\sigma] = 490$ MPa对应安全系数为1,认为 $[\sigma] = 390$ MPa对应安全系数为1.25,认为 $[\sigma] = 325$ MPa对应安全系数为1.5,认为 $[\sigma] = 130$ MPa对应安全系数为4。

通过结果可以看出,当设计约束条件翼尖位移 $disp \leq 4660$ mm时,随着限定的计算许用应力 $[\sigma] = 490、390、325$,机翼质量分别为321.1、336.4、365.3 kg,是原设计参数的79.6%、83.4%、90.6%。但随着设计约束条件严苛程度的增加,优化后的机翼质量和结构也相应的变得保守,如当设计约束条件翼尖位移 $disp \leq 3200$ mm(机翼翼展的20%)、许用应力 $[\sigma] = 390$ MPa时,机翼质量为425.2 kg,是原设计参数的105.4%。

综上所述,多参数综合优化方法能够在满足额定强度情况下实现结构优化的要求,但结构的最终优化状态与其所限定的强度要求(即设计约束条件)关系密切。

2.3 算例2:相同设计约束条件下多参数设定分析

下面通过两个设计模型说明。

1) 优化模型1。

设计约束条件:翼尖位移 $disp \leq 3000$ mm。

设计变量:墙、肋腹板和机翼蒙皮厚度 δ ,设定范围0.5 mm < δ < 20 mm,共计PSHELL变量87个。

目标函数:质量最小化,即 min(mass)。

计算结果总体指标:外翼质量为468.5 Kg;上下蒙皮在根部最厚处为5.77 mm;墙腹板根部最厚处为7.87 mm,位于2墙靠近根部第一段。

2) 优化模型2。

设计约束条件:翼尖位移 $disp \leq 3000$ mm。

设计变量:墙、肋腹板和机翼蒙皮厚度 δ ,设定范围0.5 mm < δ < 20 mm,共计PSHELL变量87个;所有杆元截面积Area的初值、下限、上限分别定义为100、20、400,单位mm²,共计PROD变量21个。

目标函数:质量最小化,即 min(mass)。

计算结果总体指标:外翼质量为446 kg;上下蒙皮在根部最厚处为5.5 mm;墙腹板根部最厚处为5.85 mm,位于2墙靠近根部第一段。

对比结果可以看出,多参数属性设定是决定模型优化成败的重要因素。

3 后续发展方向及有待解决的问题

1) 现在已完成的工作为全金属状态下机翼结构优化设计,最终需要探索复合材料结构状态下的优化设计手段。

2) 在机翼结构在实际工作状态下,还需要考虑墙、肋腹板刚度、薄板临界失稳等复杂设计约束条件,如何能准确地校核模拟结构强度状态有待进一步的开发。

3) 有限元模型细化后,常规的强度校核手段有一些已不再适用,例如有限元截面法。

4) 目前强度校核手段主要为初始模型→细化模型→优化→将相关参数迭代回初始模型→再优化→迭代计算等循环操作,是否有更简洁有效的设计形式值得我们探索与讨论。

4 结论

1) 结构多参数综合优化设计是一种探索性的正向设计形式,是未来发展方向之一。

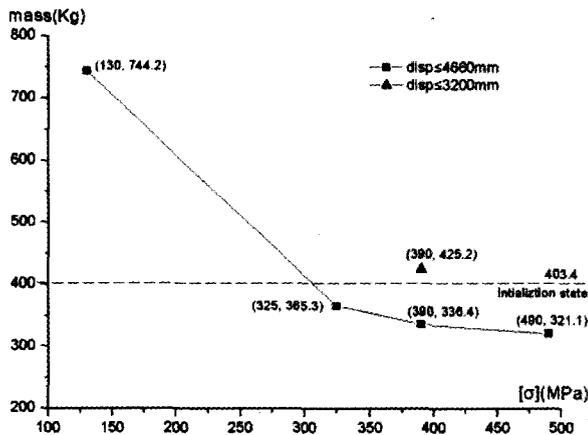


图3 结果分析

2) 结构多参数综合优化设计具有成本低廉、设计周期短、可控式正向设计等多种优点。

3) 结构多参数综合优化设计采用计算机工程软件对目标结构的多项参数属性进行优化运算,从而达到结构轻量化、承载尺寸合理化的设计目的。算例1中在不考虑襟副翼蜂窝结构质量、安全系数为1.25的情况下,单侧机翼质量的优化结果为336.4 kg,是原设计参数的83.4%。

4) 在研究过程中提出了4项后续研究方向和亟待解决的问题,但随着不断的深入研发与探索,必将面临更多新的问题与挑战。

参考文献

[1] 牛春匀. 使用飞机结构工程设计[M]. 航空工业出版社, 2008.

[2] Altair Hyper Works 10.

[3] Pantran/nastran 2005.

[4] 张立卫. 最优化方法[M]. 科学出版社, 2010.

作者简介

王维(1982-), 男, 工程师, 现从事飞机机械、机电专业质量监督工作。

王维阳(1982-), 男, 辽宁本溪人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事飞机机体强度研究工作。

↑↑(上接第59页)↑↑

之后, 可得到支持隐私保护的用户检索模型P2。模型中节点 $node = \{sen, succ, weight, name\}$, 可看成一个四元组合, 其中name指代该节点的名称, weight是节点在用户模型中所占的权重, sen、succ指节点的敏感值和成功率。

3.3 模型的更新与修改

在某段时期构建的用户模型只能代表特定时期的用户偏好, 随着时间往后推移, 前期构建的模型已不能准确的描述用户兴趣, 并且为避免隐私信息修剪过度影响检索质量, 论文对用户模型进行了一定地更新和修整, 首先用户在线输入查询词q后, 将该查询词q映射到ODP知识库R中, 计算查询词q与R中各个类的相似度KL值, 根据公式(3), 筛选出相似度 $D_{kl} \geq 1/n$ 。

$$D_{kl} = \sum_{t \in S_q(R)} \Pr(t|q) \log\left(\frac{\Pr(t|q)}{\Pr(t)}\right) \quad (3)$$

其中, $\Pr(t|q) = 1/n$, $n = |S_q(R)|$, n是相似主题的个数。

4 结束与展望

隐私保护增强的用户兴趣模型是上下文信息检索发展的一个新领域, 不仅可以保护网络用户隐私, 还可理解用户兴趣偏好。在该领域中, 需设计更合理的算法去处理隐私节点以及在隐私保护和检索质量之间寻找一个恰当的平衡点。

↑↑(上接第127页)↑↑

2 多谐振荡的原理及应用

1) 电路结构: 如图-4所示, R3、R4、C2串接在电源与地之间, TR和TH端子连接在一起后再连接在电容的上面。直接复位端子连接电源, 处于无效状态, 5脚的CV端子悬空, TR和TH有效触发电平分别为电源电压的2/3, 即2V和4V。

2) 原理分析: 在讲多谐振荡的原理之前, 先说明一下, 当555的输出端为低电平0时, 内部晶体管导通状态; 而当555的输出端为高电平1时, 内部晶体管(放电管)处于截止状态, 下面我们以电路状态流程的方式来描述它的工作原理。

Q(0) → 放电管导通 → 电容放电 → TR起作用 → Q(1) → 放电管截止 → 电容充电 → TH起作用 → Q(0) → ……

当输出端3脚为低电平时, 内部的放电管是处于导通状态的, 这个时候的电容C2处于放电状态, 放电通路为: C2上面的正电荷经过电阻R4进入芯片的7脚(放电端)、再经过内部的放电管到达芯片的1脚(电源的负极)。电容放电的时候, 两端的电压会越来越低, 当TR和TH两端的电压低于2V时, TR会触

参考文献

[1] 张帆, 申艳光, 王敏. 个性化搜索中隐私保护技术的探讨与研究[J]. 河北工程大学学报, 2011, 28(1): 106-109.

[2] Shen X.H, Tan B, Zhai C.X. Context Sensitive Information Retrieval Using Implicit Feedback[C]. New York: ACM Press, 2005: 15-19.

[3] Dou Z, Song R, Wen J.R. A large-scale evaluation and analysis of personalized search strategies[C]. New York: ACM Press, 2007: 581-590.

[4] Xu Y, Wang K, Zhang B, et al. Privacy-enhancing personalized web search[C]. New York: ACM Press. 2007: 591-600.

[5] Chen G, Bai H, Shou L.D, et al. UPS: Efficient Privacy Protection in Personalized Web Search[C]. New York: ACM Press, 2011: 615-624.

作者简介

何秀(1988-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为信息检索。

熊璐(1987-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为信息检索。

发起作用使输出端输出高电平(1)。

当输出端3脚为高电平时, 内部的放电管是处于截止状态的, 这个时候的电容C2处于充电状态, 充电通路为: 电源电流经过电阻R3和R4对C2进行充电, C2两端的电压会越来越高, 当TR和TH两端的电压高于4V时, TH会触发起作用使输出端输出低电平(0)。

电路通过电容规律性的充放电, 在输出端会输出一个高低电平交替的矩形波, 这就是我们所讲的多谐振荡。

3) 主要应用: 多谐振荡应用广泛, 通过调节充放电的参数, 在555定时器的输出端可以输出一个不同频率的矩形波, 接上喇叭, 也就可以发出不同的声音。在很多的场合, 多谐振荡可以用波形的产生电路及报警电路。

参考文献

[1] 阎石. 数字电子技术(第四版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.

[2] 曾令琴. 数字电子技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.