

飞机主起落架舱门变形分析与边界约束优化

周松官*

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘要:

基于有限元软件 Patran 和 Nastran, 对一种常见的短程民用飞机主起落架舱门在空中严重工况下的变形进行仿真分析, 并通过试验验证有限元模型的准确性; 最后, 根据有限元仿真分析结果对舱门的边界约束进行优化, 并将优化后的舱门变形情况与优化前进行对比分析; 分析结果表明, 优化边界约束后的舱门变形量显著减小, 其结构应力水平明显降低。

关键词: 主起落架舱门; 变形; 边界约束优化

中图分类号: V223+.9

文献标识码: A

OSID:



0 引言

目前, 国内外对于飞机起落架舱门结构设计方面的研究主要包含舱门收放机构设计^[1]、舱门开度分析^[2]、舱门密封件分析^[3]与试验^[4]、复合材料舱门设计^[5]、舱门抗冲击性能研究^[6]、舱门疲劳试验^[7]、舱门气动弹性稳定性分析^[8]、舱门气动声学分析^[9]、舱门结构优化与试验测试^[10]等。现有的飞机起落架方面的研究大部分是关于飞机前起落架舱门结构的, 而关于主起落架舱门结构方面的研究还十分欠缺, 特别在主起落架舱门优化设计方面, 现有的研究内容主要涉及舱门收放机构、蜂窝复合材料结构以及密封件优化设计等方面。

本文研究的主起落架舱门主要适用于短程民用客机主起落架舱门, 如图 1 所示。图 1 中的舱门含上、中、下三块舱门, 其中, 中舱门和下舱门相连且联动开启或闭合, 而下舱门独立开启或闭合。由于中舱门和下舱门结构相对复杂, 且其在空中关闭状态下受载最严重, 因此本文主要针对主起落架中舱门和下舱门在空中严重工况下的变形进行分析, 并根据分析结果对舱门结构进行优化设计。

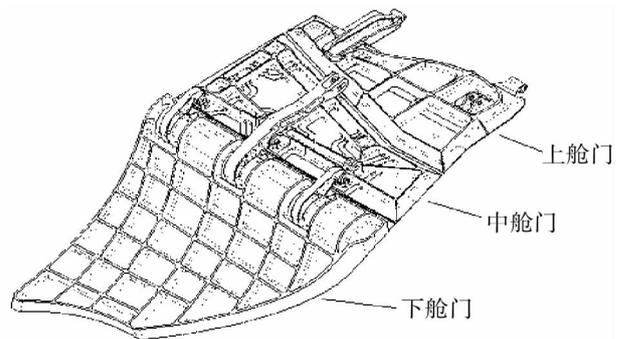


图 1 主起落架舱门示意图

1 舱门结构简介

中舱门通过 5 个接头连接到主起落架支柱, 其中的 3 个接头采用球轴承进行连接, 其余 2 个接头采用销轴进行连接。下舱门通过两根短摇臂和一根长摇臂连接到中舱门, 同时, 长摇臂的一端连接到主起落架支柱。三根摇臂通过螺栓连接到下舱门本体结构, 并通过球轴承连接到中舱门和主起落架接头。

2 有限元仿真分析

中舱门和下舱门本体结构采用壳元(CQUAD4

* 通信作者。E-mail: zhousongguan@comac.cc

引用格式: 周松官. 飞机主起落架舱门变形分析与边界约束优化[J]. 民用飞机设计与研究, 2019(4):97-101. ZHOU S G. Deformation analysis and boundary constrained optimization on the aircraft main landing gear door[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2019(4):97-101 (in Chinese).

和 CTRIA3);下舱门摇臂结构相对复杂而采用实体单元(Tet4);摇臂与中舱门之间通过球轴承连接,因此,采用 RBE3 单元结合 BAR2 单元的形式进行模拟,并通过 RBE3 单元和 BAR2 单元的共用节点释放 3 个转动自由度;摇臂与下舱门之间通过多颗螺栓连接,因二者之间连接强度高且为了简化数模,因此,直接采用 RBE3 单元进行模拟,并释放绕螺栓轴的转动自由度。

边界约束:有限元模型边界约束包含 5 个中舱门接头约束以及长摇臂端部接头约束,且均采用 RBE3 单元结合 BAR2 单元的形式模拟接头连接,并通过控制 RBE3 单元和 BAR2 单元共用节点的自由度,来实现各接头约束;对于球轴承连接接头,仅约束 3 个方向的平动自由度;对于销轴连接接头,约束三个方向的平动自由度,释放绕销轴转轴的转动自由度,并约束其余两个转动自由度。

载荷施加:在空中严重工况下,中舱门和下舱门主要承受垂直舱门外表面的气动吸力,但为了方便与舱门试验数据进行对比分析,分别将中舱门和下舱门的气动力等效为各自的一个集中力。

主起落架中舱门和下舱门在 Patran 软件中的有限元模型见图 2。

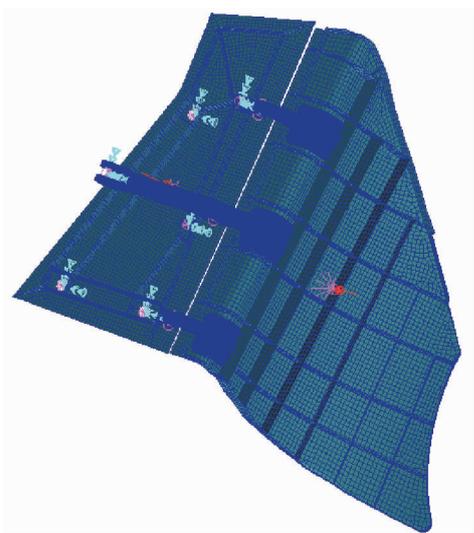


图 2 中舱门和下舱门有限元模型

通过 Nastran 软件计算分析,得到空中严重工况下的中舱门和下舱门 Z 方向(即竖直方向)位移云图见图 3,总位移云图见图 4,Von Mises 应力云图见图 5。

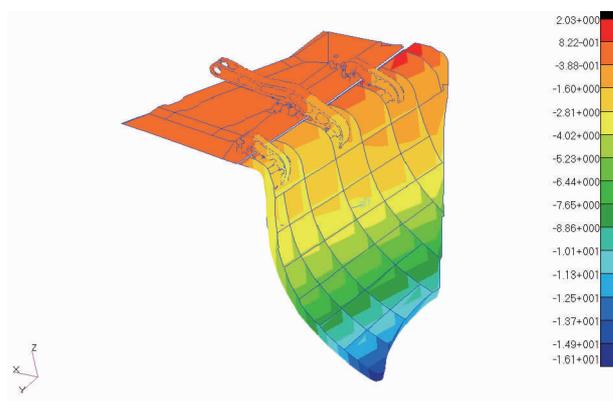


图 3 中舱门和下舱门 Z 方向位移云图

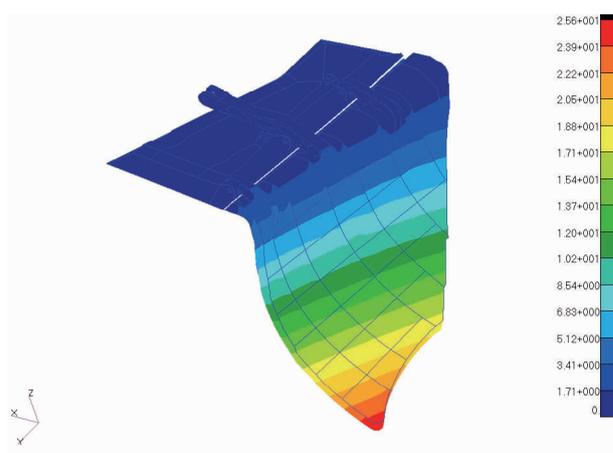


图 4 中舱门和下舱门总位移云图

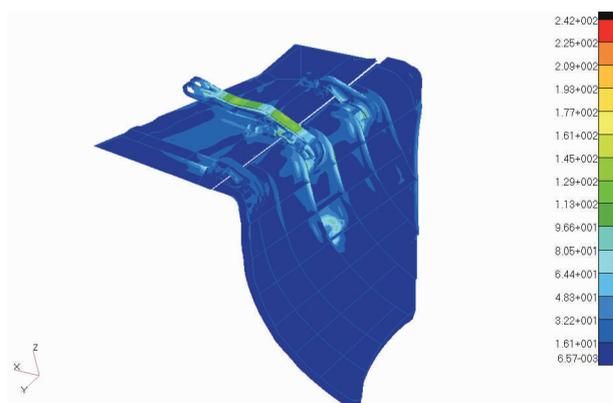


图 5 中舱门和下舱门 Von Mises 应力云图

由图 3 和图 4 可见,中舱门在竖直方向的位移以及总位移均较小,下舱门的位移较大,且在竖直方向的位移最大值为 16.1 mm,总位移最大值为 25.6 mm。由图 5 可见,除各接头及加载点区域外,舱门结构的 Von Mises 应力低于 161 MPa,远低于材料屈服应力 430 MPa。

3 舱门试验

主起落架中舱门和下舱门按真实装机情况安装在主起落架上进行试验,并在飞机前起落架、左发动机和右发动机三处结构接头提供平动位移约束,共限制整架飞机6个自由度,使飞机处于静定状态。由于中舱门和下舱门的总载荷相对较小,且该载荷引起主起落架支柱及周边结构的变形和位移可忽略不计,因此,从试验中测得的舱门位移即舱门自身的位移。

试验时,通过液压作动器施加集中力,采用应变片监测主传力路径上的舱门结构应变,使用位移传感器测量有限元模型中产生最大位移处的舱门结构在竖直方向的位移。舱门结构应变和位移测量点位置示意图如图6所示。

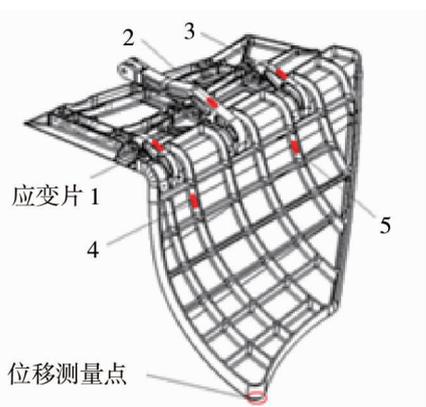


图6 应变和位移测量点位置示意图

4 仿真结果与试验结果对比分析

通过试验获得的关键位置结构应变和位移数据,并与对应的有限元仿真数据进行对比,得到结构应变与位移的对比结果分别见表1和表2。

表1 应变片试验数据与仿真数据对比结果

类别	应变片1	应变片2	应变片3	应变片4	应变片5
试验/仿真	0.90	0.94	0.73	0.96	0.73

表2 位移试验数据与仿真数据对比结果

类别	试验/仿真
测量点位移	0.95

表1和表2中的数据显示,由试验获得的应变、位移数据与仿真获得的数据整体差异较小,即有限元仿真模型具有较高的准确度。

5 优化边界约束后的有限元仿真分析

根据第2章节的仿真分析结果,从强度方面分析,舱门结构可以大幅度减重,使其结构 Von Mises 屈服应力接近许用拉伸屈服应力。从刚度方面分析,舱门结构整体减弱,将引起舱门结构刚度下降,导致舱门面外位移增加。而下舱门原本的面外位移已经超过 16 mm(即收起状态下的舱门外面与周边结构的阶差超过 16 mm),已经对舱门区域的气动力产生一定的影响,若降低舱门刚度,必然导致舱门面外位移增加,进一步影响舱门区域的气动外形,增加气动阻力,并可能引发不可预知的舱门结构变形与破坏。

为了在不改变舱门外形面和接头连接形式的情况下,实现结构减重,同时不增加舱门面外位移,可考虑以下两种方案:

1)对舱门结构进行拓扑优化^[11],重新分布材料,由于舱门主要受面外载荷作用,因此可将材料往舱门结构的内外两侧堆积,尽可能提高舱门面外抗弯刚度,使得舱门产生相同的面外位移时所用材料最小;

2)对舱门边界处的面外位移进行约束,特别是下舱门结构,其整体结构类似于一端固定的悬臂梁形式,若能在舱门边界增加约束(如在周边结构增加锁扣等),使其类似于如图7所示的简支梁形式,则舱门的面外位移将大幅度减小,使得舱门产生原先相同的面外位移时所用材料大量减少。

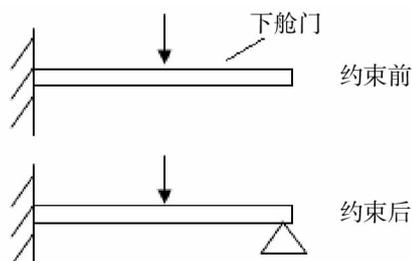


图7 增加边界约束前后下舱门受力示意图

相比方案一,方案二的减重效率更高,因此,本文针对方案二进行有限元仿真分析。在原先的有限元模型基础上,对下舱门面外变形严重部位的边界进行面外位移约束,其有限元模型如图8所示。

通过 Nastran 软件计算分析,得到优化边界约束后的中舱门和下舱门总位移云图见图9, Von Mises 应力云图见图10。

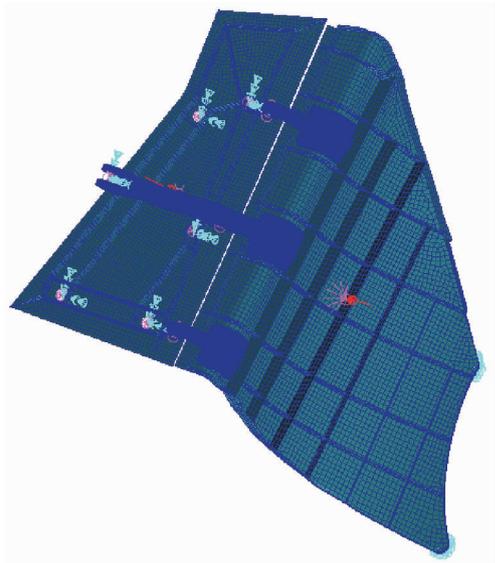


图 8 优化边界约束后的有限元模型

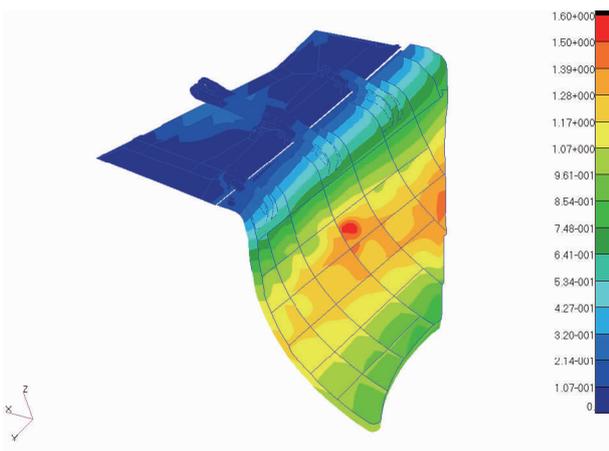


图 9 优化后的舱门总位移云图

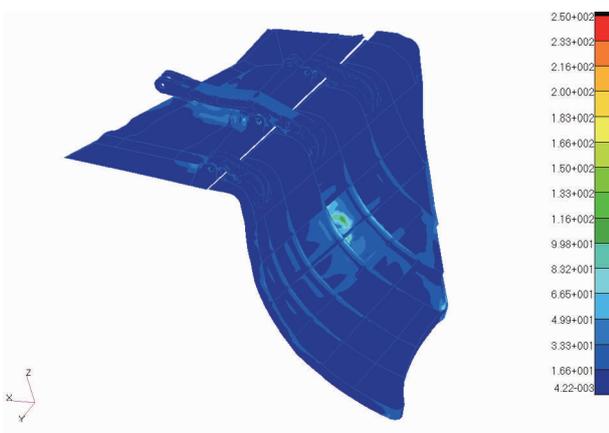


图 10 优化后的舱门 Von Mises 应力云图

图 9 显示,下舱门结构总位移较大,且最大值为 1.6 mm。图 10 显示,除各接头及加载点区域外,舱

门结构的 Von Mises 应力低于 83 MPa。

整理边界约束优化前后的舱门面外最大位移和结构 Von Mises 应力仿真数据见表 3(不含各接头及加载点区域)。

表 3 优化前后的舱门有限元仿真结果数据

类别	总位移/mm	Von Mises 应力/MPa
优化前	25.6	161
优化后	1.60	83

由表 3 可知,优化边界约束后的舱门结构面外位移值和应力值明显减小,表明优化后的舱门结构存在较大的减重空间。

6 结论

本文通过有限元软件 Patran 和 Nastran 分析了某民用客机主起落架舱门在空中严重工况下的变形,并与试验结果相对比,同时,对舱门的边界约束进行优化,并对优化前后的舱门变形和应力情况进行对比,最终得到以下结论:

1) 舱门的有限元仿真模型与实际模型匹配较好,说明本文的有限元模型建立方法具有较高的准确度;

2) 优化边界约束后的舱门变形量显著减小,应力水平明显降低,说明优化边界约束后的舱门存在较大的减重空间;

3) 优化边界约束前的舱门以刚度设计为主(即受限于舱门面外变形),优化后的舱门以强度设计为主(即受限于舱门材料强度),说明边界约束的优化使得舱门设计模式由刚度设计转变为强度设计。

参考文献:

[1] 王小锋,张威,吴林,等. 飞翼型飞机主起落架与舱门联动收放机构设计[J]. 机电工程技术,2011(11): 71-73.

[2] 张锐. 某型飞机前起落架收放机构及舱门开度分析[D]. 南京航空航天大学,2013.

[3] 徐锦锦,聂宏,魏小辉,等. 飞机起落架舱门收放联动机构气密性分析[J]. 机械设计与制造,2016(12): 5-8.

[4] FINKBEINER J, DUNLAP P, STEINETZ B, et al. Investigations of shuttle main landing gear door environmental seals[C]. 41st AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit,2005.

- [5] 高波,赵彬,甘建,等. 飞机复合材料起落架舱门优化设计[J]. 航空计算技术,2014(1):52-55.
- [6] 徐子澎. 起落架舱门结构优化设计和抗冲击性能研究[D]. 南京航空航天大学,2015.
- [7] 李岷,宋海平,吴志超. 某型飞机主起落架舱门疲劳试验. 第十五届全国疲劳与断裂学术会议摘要及论文集[C]. 2010.
- [8] BLADES E,CORNISH A, Aeroelastic stability predictions of a business jet landing gear door using high fidelity fluid structure interaction tools [C]. 56th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference,2015.
- [9] FATTAH R,HU Zhiwei, ANGLAND D. Aeroacoustics of a landing gear door [C]. 19th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conferenc-e,2013.
- [10] BARNES J E,MCMICHAEL J, WALKER J. ,et al. Nose landing gear door re-design [C]. 48th AIAA/ASME/ASC-E/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 2007.
- [11] 周松官. 基于 OPTISTRUCT 平台的某飞机摇臂结构优化设计[J]. 民用飞机设计与研究,2018(4):56-59.

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

Deformation analysis and boundary constrained optimization on the aircraft main landing gear door

ZHOU Songguan *

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

Abstract: This article makes a simulated analysis on main landing gear door of a common short-range civil aircraft under serious air condition based on finite element software Patran and Nastran, and verifies the correctness of the finite element model. Lastly, boundary constrained optimization is performed on the door according to finite element analysis result, and the door's deformation before and after optimization was compared and analyzed. The analysis result indicates that the door's deformation and structure stress are obviously decreased after boundary constrained optimization.

Keywords: main landing gear door; deformation; boundary constrained optimization

* Corresponding author. E-mail: zhousongguan@comac. cc