

基于ABAQUS对无人机材料仿真分析

孔一天 黄广洪 刘颖 仇继卿 迟英姿*
南京工业大学浦江学院 江苏南京 211200

摘要: 此项目是一个针对于多旋翼无人机结构材料的研究,进而应用于无人飞机生产,飞行等领域,从而实现无人飞机结构轻质化,高性能化。研究过程是通过对传统材料与现代复合材料的对比,进而选择较优的无人飞机结构材料。运用ABAQUS软件对其进行仿真分析,结合有限元方法和振动机理,得出机臂与螺旋桨叶的模式,之后进行实验测量并分别从幅值域、频域分析测量结果,从而对比得出多旋翼无人机最优的材料。

关键词: 有限元仿真分析; 材料的选择; 无人机; 复合材料

Simulation analysis of UAV materials based on ABAQUS

Kong YiTian, Huang GuangHong, Liu Ying, Qiu JiQing, Chi Yingzi*
Nanjing Tech University Pujiang Institute, Nanjing, 211200, Jiangsu, China

Abstract: This project is a research on the structural materials of unmanned aircraft, and then applied to the production of unmanned aircraft, flight and other fields, so as to achieve lightweight unmanned aircraft structure, high performance. By comparing the traditional materials with the modern composite materials, it selects the better structure materials of unmanned aircraft. The ABAQUS software was used for simulation analysis, combined with the finite element method and vibration mechanism, to obtain the modal of the arm and the propeller blade, and then the experimental measurement was carried out and the measurement results were analyzed from the amplitude domain and frequency domain respectively, so as to obtain the optimal material of the multirotor UAV.

Keywords: Finite element simulation analysis; Material selection; UAV; Composite material

引言:

随着经济的发展和社会的进步,无人机发展至今在世界军事领域和日常生活民用领域都有着不可或缺的作用。随着多旋翼无人机的市场在中国逐渐增大,低成本、

轻结构、使用寿命长,等都成为无人机现阶段去研究的对象。复合材料在多旋翼无人机的运用越来越多。多旋翼无人机的性能在其原本设计好的机身结构下,我们必须考虑使用大量的复合材料来提高无人机的机身参数和飞行参数,对于无人机的参数分析,我们主要运用有限元分析法和振动机理,来分析无人机飞行时的振动模式。

ABAQUS软件有限元分析软件可以对材料的结构承载过程进行数值模拟,从而大大节约研究费用,缩短研制周期。本文的工作重点是对某复合材料无人机进行有限元模型简化,对结构单元进行合理的离散化处理,然后得出其应力分布及变形大小,最后判断其结构是否能满足强度和刚度的要求。

1 ABAQUS有限元分析

1.1 模型的建立

首先研究成员先确定分析对象,无人机广泛使用的机臂F450;无人机机臂模型是来自《美国国家科学基金会组织的挑战杯赛》中的无人机机臂作品。由于考

作者简介:

孔一天,男(2001.04),汉族,江苏淮安人,在读本科生,研究方向:车辆工程。

黄广洪,男(2000.09),汉族,江苏九江人,在读本科生,研究方向:车辆工程。

刘颖,女(2002.07),汉族,江苏镇江人,在读本科生,研究方向:工业工程。

仇继卿,男(2000.04),汉族,广西钦州人,在读本科生,研究方向:汽车服务工程。

通讯作者简介: 迟英姿(1984.06),女,汉族,山东烟台人,硕士研究生,南京工业大学浦江学院,副教授,研究方向:机械设计制造。

考虑到该模型网格不能过于密集，三维模型忽略了细小孔洞，其中部分连接件做了省略处理，一些重点孔位要给予保留，只保留了关键连接孔。各部件的绑定用绑定约束，即将组装好的机臂视为一个整体。将三维模型导入ABAQUS，进行后续的工作。

1.2 材料参数的定义

在ABAQUS有限元软件中编辑材料，对材料进行有限元分析，主要涉及到质量密度、杨氏模量、泊松比三个参数。

其中，杨氏模量是描述固体材料抵抗形变能力的物理量，泊松比是反映材料横向变形的弹性常数，对各向同性材料，弹性模量E和泊松比是两个基本材料常数，可确定材料的弹性性质。

完成材料参数的定义后，选择默认的截面定义，最后点击指派截面，为模型指派对应的截面属性，完成截面的构件。

搜集了相关资料，找出了广泛应用于无人机的多种复合材料，这些复合材料主要分为三种：(1) 聚合物基复合材料；(2) 金属基复合材料；(3) 碳纤维复合材料。复合材料具有各向异性的弹性特性，各项异性材料弹性力学和各向同性材料弹性力学的差别，仅在于应力应变关系的不同，而平衡方程、几何方程、协调方程和边界条件等，则完全相同。纤维增强复合材料，一般说来（尤其是在纤维方向）具有良好的线性弹性，能经受比常见金属材料为大的弹性变形，因此可能产生有限应变问题。

表1为本次实验所选择的4种复合材料。

表 1

材料	密度	杨氏模量	泊松比
pa66+G30	1.35g/cm ³	5.825Gpa	0.35
铝合金	2.78g/cm ³	72Gpa	0.33
碳纤维 pp 夹芯板	0.89g/cm ³	0.896Gpa	0.41
pa66	1.12g/cm ³	2.62Gpa	0.34

1.3 网格系统的构建

为了在离散的位置获得有效解，需要划分良好的网格。单元类型选择四面体，最后对划分好网格的模型进行装配。

1.4 边界条件（约束）

连接关系的构建：本课题是对单个机臂进行分析，视为一个整体即可。

边界条件的设定：机臂内侧四孔位完全固定，即添加位移边界条件，机臂外侧四孔位是电机安装位置。如图1所示：

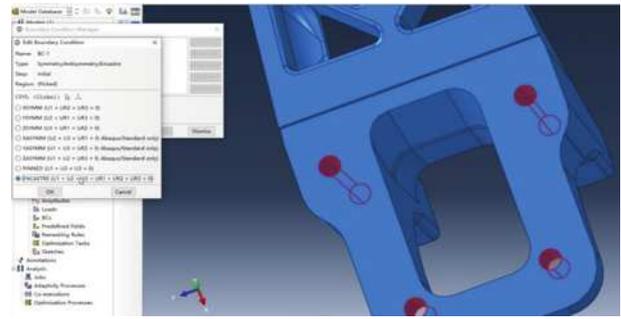


图 1（边界条件的设定）

1.5 ABAQUS有限元分析后处理

由多旋翼无人机的飞行状态得知，电机（旋转器）会给无人机机身带来固有频率的振动。其振动频率等于旋转频率。从角速度的反馈数据，无人机一般工作频率在200-400Hz，所以采样频率和控制频率最好不低于200Hz。在恒定的采样频率200Hz左右的条件下，通过飞行测试得出时域数据。得到这些数据，我们要对其进行有关振动机理的模态分析。

模态分析是振动分析的重要组成。本实验将通过模态分析找出模型各个部位振幅的状况，运用控制变量法，确定一个固定的振动频率，建立n阶模态，创建分析步，从ABAQUS软件中得到模型的模态云图，对比不同的材料在特定条件的形变状态。

2 振动模态分析

通过了ABAQUS软件的帮助与振动机理中线性振动和固有频率的联系分析出模态云图，大部分分析结果前4阶模态为自由模态，在4阶模态之后在不同的约束状态下，结构的固有频率和振动模态会发生改变，因此在施加约束之后的模态分析能够反映结构的真实振动情况，研究约束对模态的影响。

研究得知，电机转速反馈到机臂模型上的固有频率在200Hz左右，所以选取了不同的复合材料在200Hz左右的固有频率下的模态。

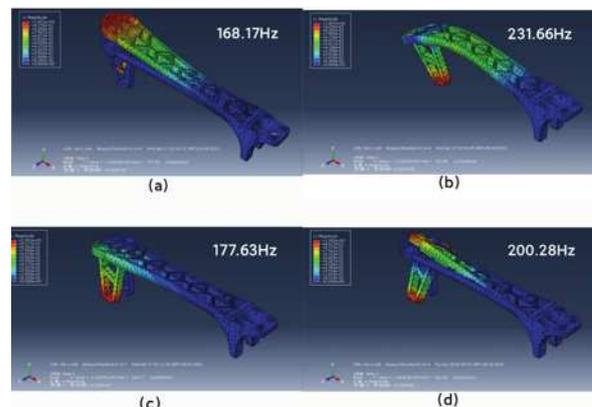


图 2（4种材料振动模态分析）

图2为4种复合材料在线性振动为200Hz左右下的模态云图。(a) pa66+30%G复合材料;(b) 碳纤维pp复合材料;(c) 铝合金;(d) pa66尼龙66树脂。

观察这些云图,我们可以得到以下结论:

(1) 在x轴方向,碳纤维复合材料的振频最远,靠近固定点,即靠近无人机机架中心位置,但考虑到在x轴上都会有一定的振动频率,而实验中的4种复合材料靠近机臂内侧(固定点)都只有小幅波动,对无人机飞控的影响并不是很大,总体来说是稳定的。

(2) 在y轴方向,从这4个模态振型可以看出都有一定的形变量,其中pa66+30%复合材料与pa66材料形变量较大,分析其原因是刚度不足;

观察无人机电机安装位置的底部,在无人机起飞的状态下,会引起瞬时响应的颤振,对比得知,铝合金与碳纤维起飞时颤振较大,可能会无人机起飞的稳定性有一定的影响,其原因是聚合物,金属,碳元素纤维三者的材料特性不同。

(3) 在z轴方向,z轴方向振动模态是无人机飞行时机身的稳定的重要标准。可以观察云图得知,pa66+30%复合材料和碳纤维材料在z轴方向上没有明显的偏移,而铝合金和pa66材料有一定的偏移量。

从pa66+30%复合材料和pa66材料对比可以直接得知,材料刚度对于无人机飞行状态的稳定性有着很大的影响。

(4) 在电机安装位置一侧角度考虑,从铝合金的振动模态云图看出,铝合金自身质量密度较高,电机一侧有一定的载荷重量,可能引起z轴的偏移,对于无人机飞行的稳定性有着一定的影响,材料的质量密度也是无人机材料选择的重要一环。

除了观察模态云图的方法,还可以从幅值域图进行分析。

图3为不同测点不同方向的平均振幅,分析结论如下:

(1) 整个机臂可以看作为一根空间梁,y轴和z轴方向为横向弯曲振动,x轴方向为轴向拉压振动,力学差异明显。

(2) 总平均振幅与有限元模态分析的结果大体一致,机臂中间段平均振幅最大,内段小。总振动的分析结果:铝合金<碳纤维<pa66+30%<pa66。

(3) 无人机飞行的稳定性取决于其横向弯曲振动,在y轴和z轴的比较得知,碳纤维材料的振幅效果最为良好。

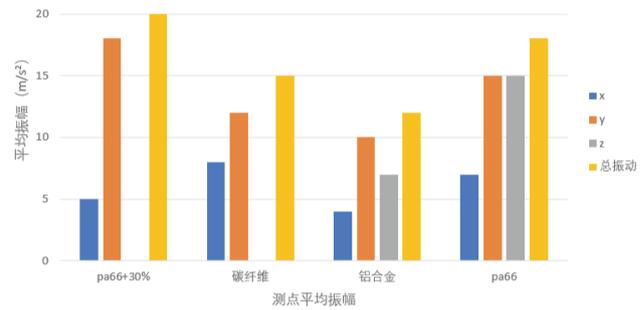


图3 (不同方向的平均振幅)

3 结论

(1) 针对无人机飞行的稳定性而言,材料的选择需要具有一定的刚度。

(2) 本实验中的4种材料,碳纤维材料表现优异,碳纤维是一种高强度高模量纤维。材料特性中的弹性模量也是材料选择的一个重要标准。

(3) 选择金属材料时,需要了解其金属特性,引起起飞时的颤振,对比在固有频率下与地面的反馈,将无人机起飞时颤振的响降低。

(4) 质量密度是材料选择的重要参考标准。

(5) 根据实际的无人机机翼,对其结构进行适当且合理的简化,建立其有限元模型,从而大大减少了实际研究周期及工作量。

(6) 不同复合材料的选择对于无人机的机臂频率和振型有很重要的实际意义,它可以评估结构的动力特性,对于无人机飞行的稳定性也有着重要的作用。

(7) 实验中的不足:仿真模拟时未能模拟无人机动态飞行的状态;实验结论为材料的选择提供了依据,尚未从材料的价格方面考虑。

参考文献:

- [1]杨加明,王旭,冯立华等.基于ABAQUS的无人机机翼结构的强度及模态分析[J].南昌航空大学学报(自然科学版),2012(03):1-5.
- [2]冯密荣.世界无人机大全[M].北京:航空工业出版社,2004.
- [3]陈贵春.军用无人机[M].北京:解放军出版社,2008.
- [4]安国锋,吕胜利,赵庆兰等.无人机全复合材料机翼的结构有限元分析[J].强度与环境,2009(06):40-44.
- [5]陈绍杰.复合材料与无人机[J].高科技纤维与应用,2003(02):11-14.
- [6]沈真.碳纤维复合材料在飞机结构中的应用[J].高科技纤维与应用,2010(04):1-4+24.