

# Dynamic Characteristics Analysis of Aircraft Landing Light Structure Based on Finite Element Method

Fuhai Duan, Xiancong Ji, Guang Yang, Dongxu Han, Wei Hu, Chenxi Yao

School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning  
Email: duanhf@dlut.edu.cn, 244072148@qq.com, yangguang96@mail.dlut.edu.cn

Received: Nov. 8<sup>th</sup>, 2019; accepted: Nov. 21<sup>st</sup>, 2019; published: Nov. 28<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

During the acceleration and deceleration phase of the flight, and in the airflow disturbance, the aircraft will generate large vibrations, which is a huge challenge for the structure of the aircraft landing light. At the same time, with the development of the aircraft design in the direction of lightweight, the use of carbon fiber composites instead of aluminum alloys has been a major trend. In this paper, a typical aircraft landing light is taken as the research object, and by finite element simulation method, the landing light dynamic structure parameters, such as natural frequency and vibration, are compared using aluminum alloy material and carbon fiber composite material respectively. The results of modal analysis and vibration analysis show that the dynamic characteristics of the landing light structure based on carbon fiber composites are superior to the traditional aluminum alloy materials.

## Keywords

Aircraft Landing Light, Carbon Fiber Composite, Vibration Analysis, Structure Optimization

---

# 基于有限元法的飞机着陆灯结构动态特性分析

段富海, 季贤聪, 杨光, 韩东旭, 胡伟, 姚晨熙

大连理工大学机械工程学院, 辽宁 大连  
Email: duanhf@dlut.edu.cn, 244072148@qq.com, yangguang96@mail.dlut.edu.cn

收稿日期: 2019年11月8日; 录用日期: 2019年11月21日; 发布日期: 2019年11月28日

## 摘要

飞机在飞行的加减速阶段以及受到气流扰动时都会产生较大的振动,这对飞机着陆灯的结构无疑是巨大挑战,同时随着飞机设计向轻量化方向发展,采用碳纤维复合材料代替铝合金材料已成趋势。本文以一种典型飞机着陆灯为研究对象,通过有限元仿真分析对比铝合金材料和碳纤维复合材料的固有频率、振动等动态特性参数。从模态分析和振动分析的结果可知,基于碳纤维复合材料的着陆灯结构的动态特性优于传统铝合金材料。

## 关键词

飞机着陆灯, 碳纤维复合材料, 振动分析, 结构优化

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

飞机外部照明灯是现代飞机照明系统中非常重要的组成部分,相对于机内照明灯,受到风阻、外部振动等载荷作用,机外照明灯的工作环境更加恶劣[1],对这种安装在飞机外部的零部件而言,最大的要求便是可靠性高。因此对飞机外部照明灯壳体及结构的材料要求非常严格,需要满足高强度、高硬度、低密度、化学性质稳定、成本较低等要求。现在机外照明灯使用高品质铝合金制造,存在异形件加工成型困难、成本高、重量大等问题。碳纤维复合材料则具有高强度、出色的耐热性、出色的抗热冲击性、低热膨胀系数、优秀的抗腐蚀性和比重小等优点。因此用碳纤维复合材料替代高品质铝合金,来解决着陆灯在使用维护时存在的问题,是一个有效技术途径[2] [3] [4] [5]。本文以一种典型的机外收放式的着陆灯装置为研究对象,分别以铝合金材料和碳纤维复合材料作为着陆灯的结构材料,使用有限元方法分析模型的动态性能,论证碳纤维复合材料代替铝合金材料的可行性。

## 2. 着陆灯机械结构的模态分析

### 2.1. 基于铝合金材料的模态分析

本文研究的机外着陆灯主要由灯罩壳体、基体、齿轮传动机构以及电机驱动装置组成。分析前首先在三维建模软件 SolidWorks 中建立着陆灯的三维模型,导入到有限元仿真软件 Workbench 后对其进行网格划分,如图 1 所示。

模态是机械结构的固有特性,模态分析是研究结构动力特性的一种方法,每一个模态对应特定的固有频率、阻尼比和模态振型,进行模态分析就是把结构体的共振频率都找出来,由小到大形成“阶”。着陆灯模型建立后,对其进行约束状态下的模态分析,提取结构的固有频率和振型。根据实际工作状态主要的受力来自灯壳对空气的阻力设置约束[6] [7] [8]。根据模态理论,低阶模态对结构动态特性影响较大,因此本文提取了该着陆灯模型的前 6 阶模态。图 2 给出了模型的前 6 阶模态振型。

### 2.2. 基于碳纤维复合材料的模态分析

在 Workbench 中新建碳纤维复合材料,其力学属性为杨氏模量  $E = 137.3 \text{ GPa}$ 、泊松比  $\mu = 0.28$ 、密

度  $\rho = 1.45 \text{ g/cm}^3$ 。碳纤维复合材料分析步骤与铝合金相同，模型的每阶固有频率和每阶振型如图 3 所示。

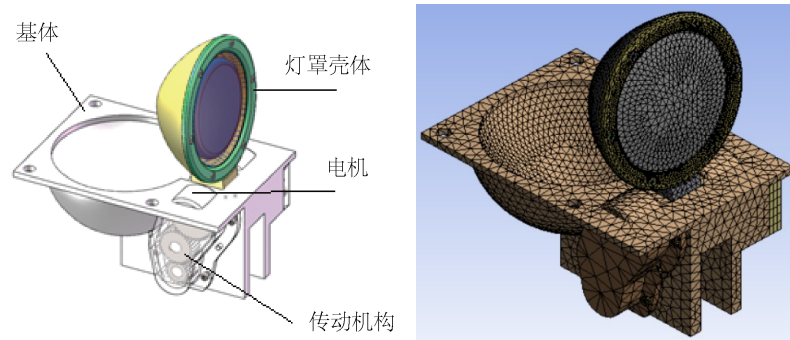


Figure 1. 3D model and mesh of landing light  
图 1. 着陆灯的三维模型及网格划分

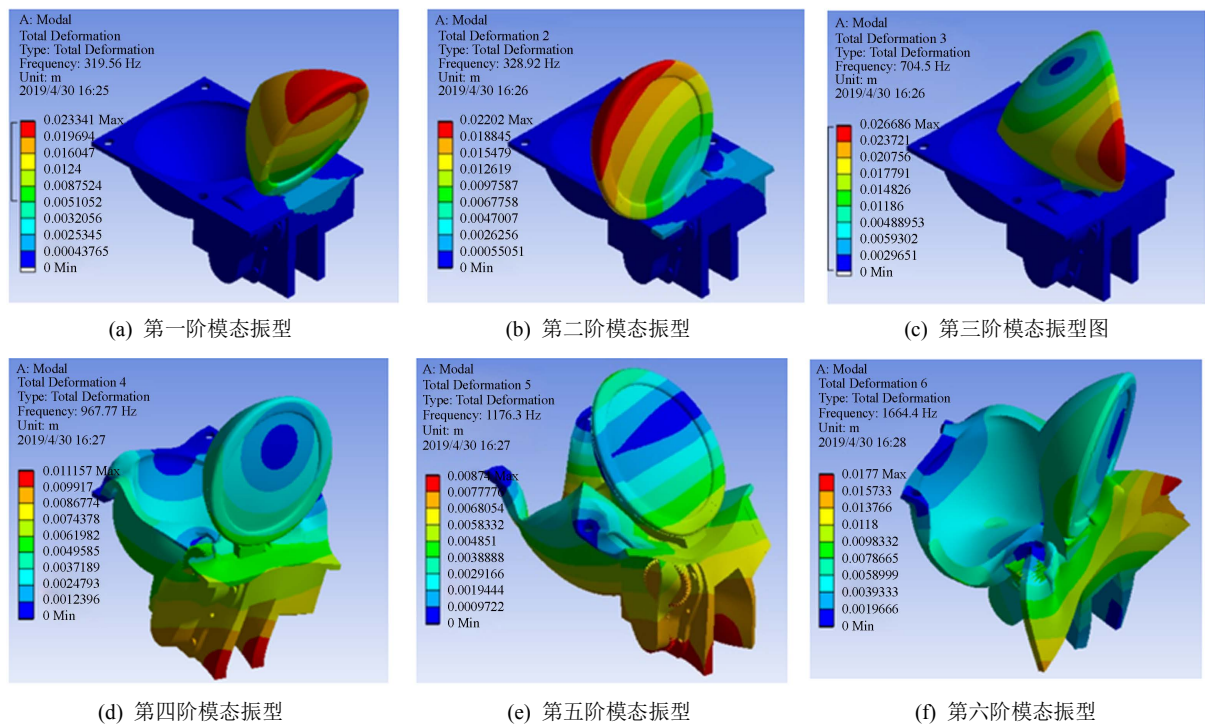
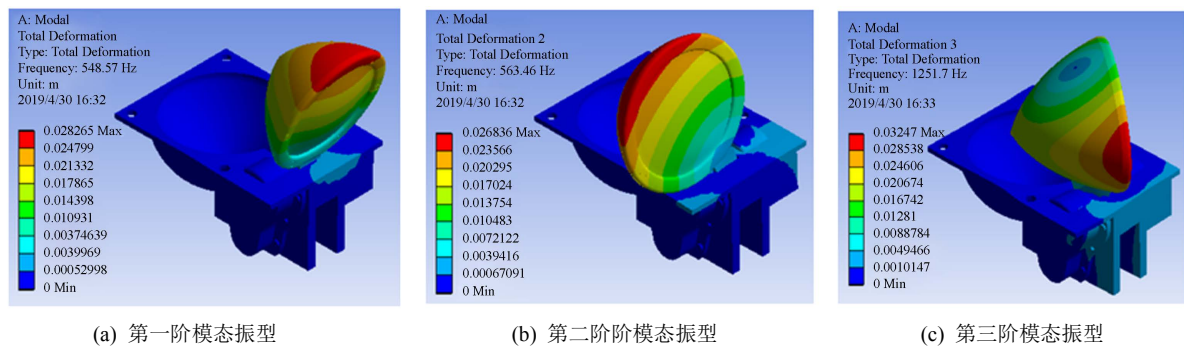


Figure 2. The first 6 modal shape of aluminum alloy materials  
图 2. 铝合金材料的前 6 阶模态振型



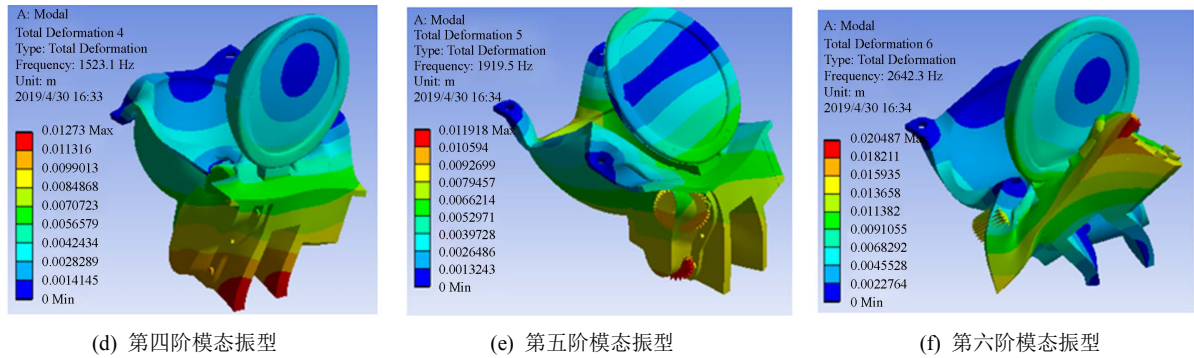


Figure 3. The first 6 modal shape of carbon fiber composite materials

图 3. 碳纤维复合材料的前 6 阶模态振型

Table 1. The natural frequency of the mechanical structure of the landing light (Hz)

表 1. 机外着陆灯机械结构模态固有频率(Hz)

材料	第 1 阶	第 2 阶	第 3 阶	第 4 阶	第 5 阶	第 6 阶
铝合金	319.56	328.92	704.5	967.77	1176.3	1664.4
碳纤维复合	548.57	563.46	1251.7	1523.1	1919.5	2642.3

分别采用铝合金材料和碳纤维复合材料，机外着陆灯机械结构模态的固有频率见表 1。根据两种材料的有限元模态分析可知：两种材料每阶固有频率不同且相差很大，碳纤维复合材料每阶固有频率大于铝合金材料；两种材料第三阶固有频率变形最大分别为 26.69 mm 和 32.47 mm，且每阶碳纤维复合材料变形大于铝合金材料；两种材料对应阶次的振动方向相同。通过云图可知，前 3 阶变形较大，是着陆灯模型振动的主要组成部分，并且从模态分析结果也可以知道以铝合金材料的装置应该避开 300 Hz 附近的振动，而以碳纤维复合材料的装置应该避开 550 Hz 附近的振动。

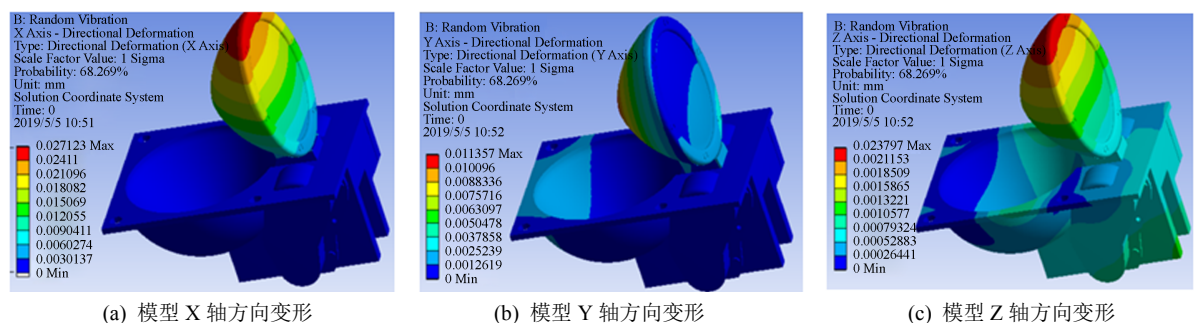
### 3. 机外着陆灯随机振动分析

#### 3.1. 基于铝合金材料分析

随机振动分析需要固有频率，因此使用模态分析获得的固有频率进行随机振动分析。在 Modal 项目基础上添加 random vibration 分析项目，并创建两个项目间的数据连接。添加加速度 PSD 载荷，方向设置为 Y 轴，载荷选择 Tabular Data 输入[9][10][11]。求解后铝合金材料随机振动分析结果如图 4 所示。

#### 3.2. 碳纤维复合材料分析

碳纤维复合材料与铝合金的分析过程相同，在材料设置时添加碳纤维复合材料作为壳体材料。碳纤维复合材料随机振动分析的等效应力、变形等结果如图 5 所示。





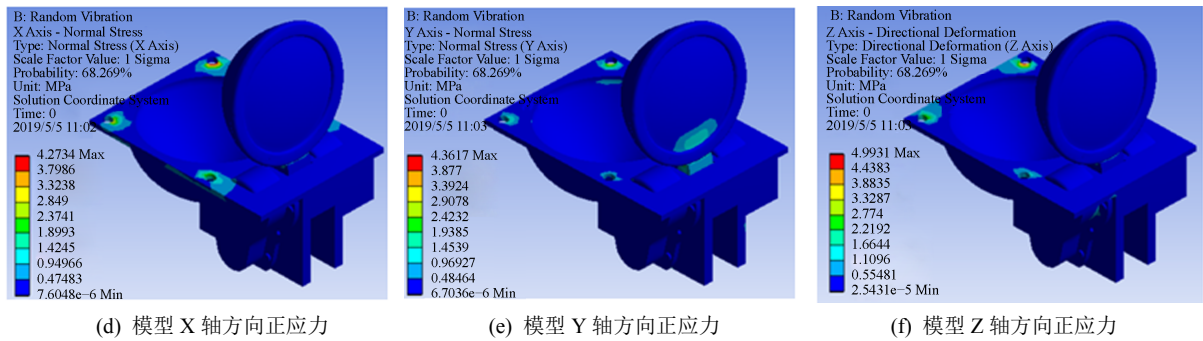


Figure 4. Random vibration analysis cloud map of aluminum alloy  
图 4. 铝合金材料的随机振动分析云图

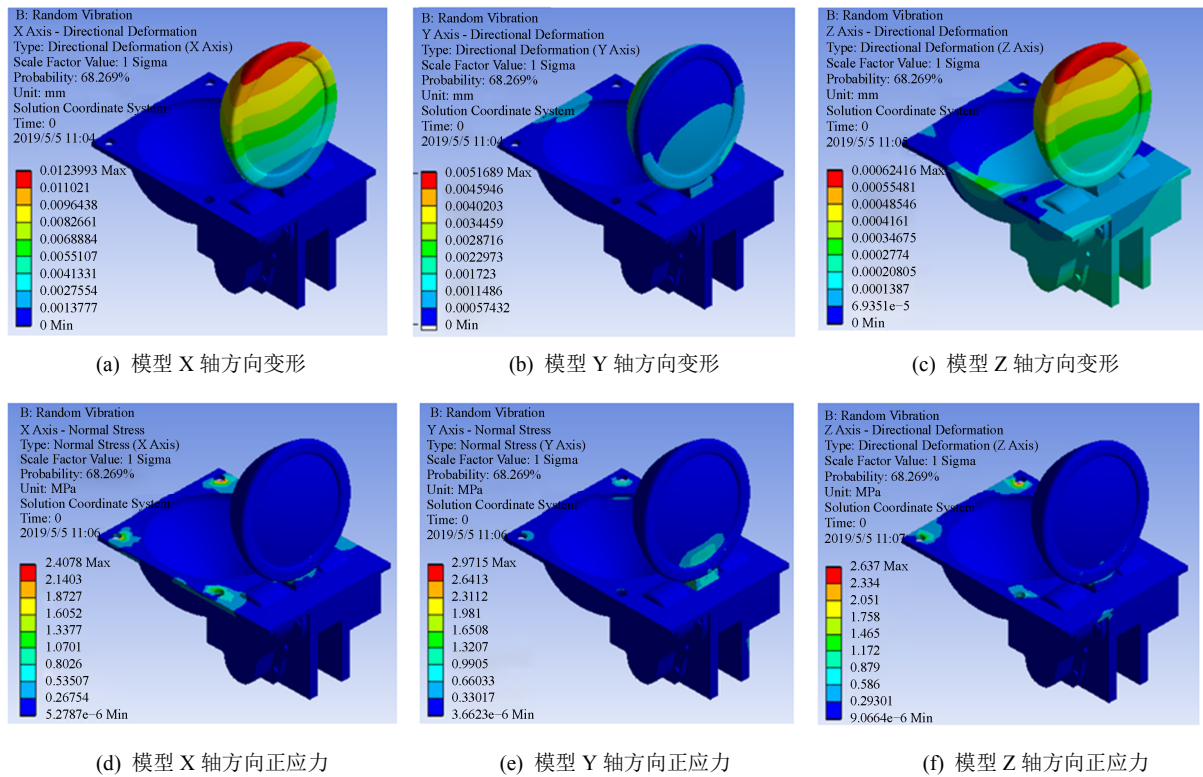


Figure 5. Random vibration analysis cloud map of carbon fiber composites  
图 5. 碳纤维复合材料的随机振动分析云图

Table 2. Analysis and comparison of mechanical structure random vibration of landing light  
表 2. 机外着陆灯机械结构随机振动分析对比

材料	X 方向变形	Y 方向变形	Z 方向变形	X 方向应力	Y 方向应力	Z 方向应力
铝合金	0.0271	0.0113	0.0023	4.27	4.36	4.99
碳纤维复合	0.0123	0.0051	0.0006	2.41	2.97	2.63

表 2 中，变形单位 mm，应力单位 MPa。通过分析随机振动的结果可知：装置模型 3 个方向的变形不同，模型变形最大是 X 轴方向，变形最小是 Z 方向，并且基于碳纤维复合材料的模型 3 个方向变形均小于铝合金材料，变形程度约为铝合金材料的 50%；碳纤维复合材料的名义应力以及 3 个方向的应力均

小于铝合金材料，碳纤维材料在 Y 方向应力较大，铝合金材料在 Z 方向应力较大；碳纤维复合材料 3 个方向的弹性应变均小于铝合金材料且大小仅为 1/3 左右，铝合金材料 X 方向应变最大，复合材料 Y 方向应变最大。

#### 4. 结论

针对一种典型的飞机着陆灯，使用有限元法对比了基于铝合金材料和碳纤维复合材料的动态特性。模态分析结果表明，碳纤维复合材料在前 6 阶模态分析中的固有频率均大于铝合金材料。随机振动仿真分析结果表明，在相同随机振动条件下碳纤维复合材料变形程度更小，可以减轻装置变形导致的灯光分布问题；应力更小，说明碳纤维复合材料在抗振动方面优于铝合金材料，装置整体强度更高，可以适应比铝合金材料更恶劣的工作环境，且能满足机外着陆灯的刚度要求。

#### 参考文献

- [1] 周海英, 夏小春, 张基斌. 一种收放式 LED 着陆滑行灯: CN206361504U [P]. 2017-07-28.
- [2] 吕善宝. 复合材料在飞机上的应用与修理[J]. 化工管理, 2019, 510(3): 204.
- [3] 朱志胜. 民用飞机着陆灯与机场助航灯光在飞机夜航中的作用[J]. 民用飞机设计与研究, 2014(2): 88-92.
- [4] 彭进业. 一种用于轻型运动飞机的角度可调式机翼着陆灯: CN207843343U [P]. 2018-09-11.
- [5] 刘波浪. 复合材料轻型飞机静强度适航符合性验证研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2018.
- [6] 孙振起, 吴安如. 先进复合材料在飞机结构中的应用[J]. 材料导报, 2015, 29(11): 61-64.
- [7] 许本文, 焦群英. 机械振动与模态分析基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [8] 王通, 吴振. 模拟 X 型号飞机复合材料机翼有限元分析[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2011, 28(5): 48-51.
- [9] 刘宏梅, 曹艳丽, 陈克. 机械结构有限元分析及强度设计[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2018.
- [10] 李占营, 阚川, 张承承. 基于 ANSYS 的复合材料有限元分析和应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2017.
- [11] 谢龙汉, 蔡思琪. ANSYS Workbench 17.0 有限元分析及仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.