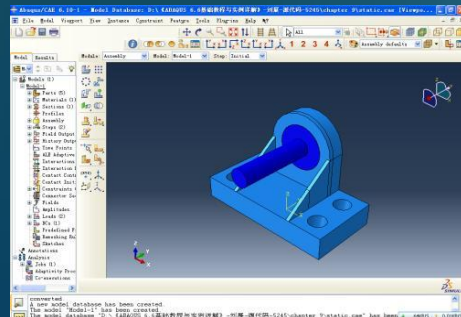
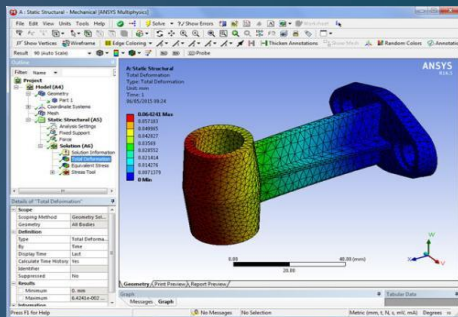


背景及意义

近年来，四轴飞行器在无人机领域的应用愈加广泛，凭借其体积小、重量轻、携带方便等优势常用于制作地图模型、航拍取景、地形勘探、实时的侦察等多种飞行场合。

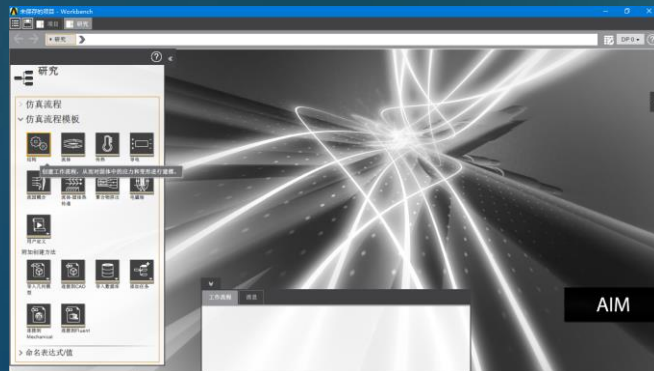
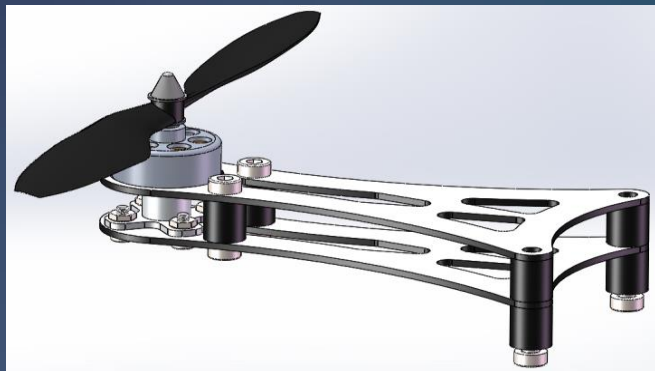
鉴于现阶段对于四轴飞行器的研究主要还是偏向于飞控、传感器以及控制算法方面的研究，有关机械机构分析方面涉及的较少。

同时现有的有限元仿真软件需要使用者对有限元分析有一定的理论基础并且对于此类仿真软件的学习是一个持续渐进的过程，因此也就使得这些仿真的软件适合一些从事有限元分析领域的专业人员使用，而对于其他行业的技术人员存在有一定的技术门槛。



背景及意义

故针对上述四轴飞行器结构分析较少并且相关仿真分析软件技术门槛较高的情况。本文以**四轴飞行器的悬臂结构**作为主要研究对象，借助于ANSYS AIM向导式的仿真流程，从而方便快捷的完成悬臂结构的模态分析，并对模态分析后的数据进行分析，**为后续改进和优化四轴飞行器的结构设计以及硬件的选型提供一定的理论依据**。除此以外，通过上述流程不仅能够为其他类型多轴飞行器的结构与硬件选型过程提供了一定的指导意义，还能为非有限元仿真领域的技术人员**提供了一个门槛更低的有限元仿真平台**。





模态分析理论

在结构动力学分析过程中存在有模态分析、响应谱分析、瞬态动力学分析等。而作为结构动力学分析当中最基础的部分，模态分析能够为其他的动力学分析提供初始的理论参数。模态分析作为一种分析处理的方法，即根据结构的固有特性(固有频率、阻尼比和模态振型)来反映结构特点的过程。针对悬臂的模态分析所使用的基本理论方程如下：

$$([K] - \omega_i^2 [M]) \{u_i\} = 0$$

式中， $[K]$ 代表刚度系数矩阵；

$[M]$ 代表指令矩阵；

ω_i 代表第*i*阶固有频率；

u_i 代表第*i*阶固有频率所对应的振型。

模态分析流程

步骤一

创建三维模型

通过SolidWorks进行悬臂结构三维模型的创建并且简化整个悬臂结构

步骤二

导入模型

将简化后的SolidWorks模型导入ANSYS AIM中

步骤三

网格划分

将模型进行网格划分

步骤四

材料设置与约束定义

对材料的进行设置定义相关的约束条件

步骤五

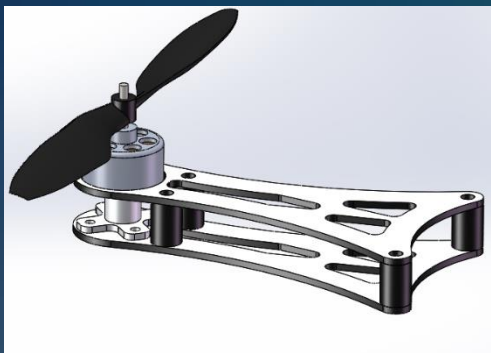
得出结果

进行模态分析得出结果

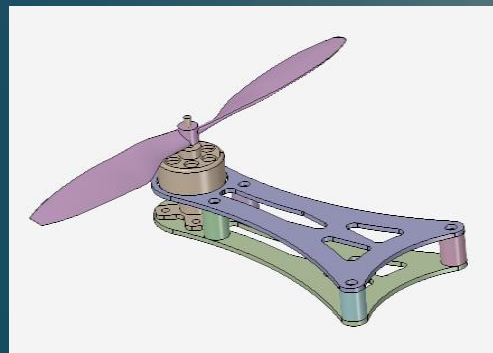
模态分析流程



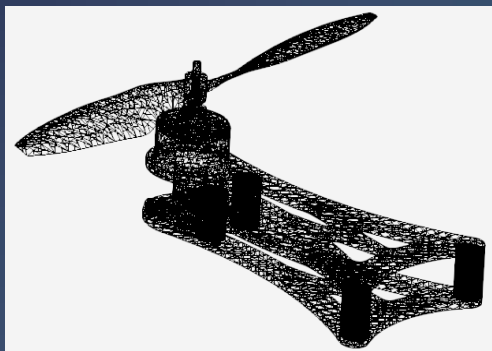
简化前悬臂结构的三维模型



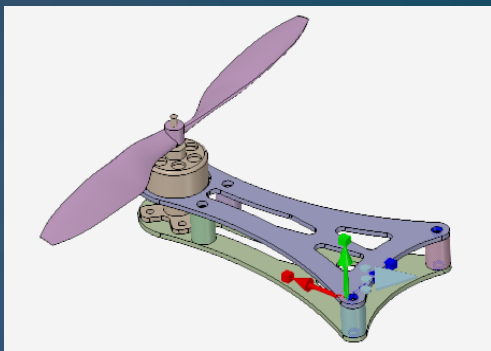
简化后悬臂结构的三维模型



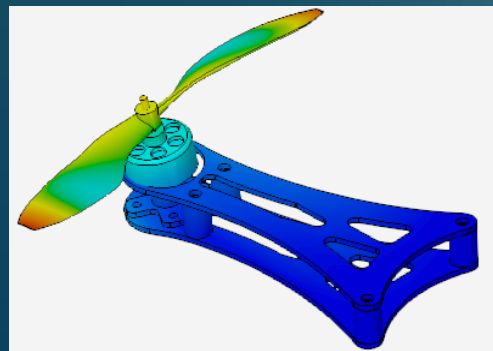
导入ANSYS AIM



划分网格



设置材料、定义约束



得出结果



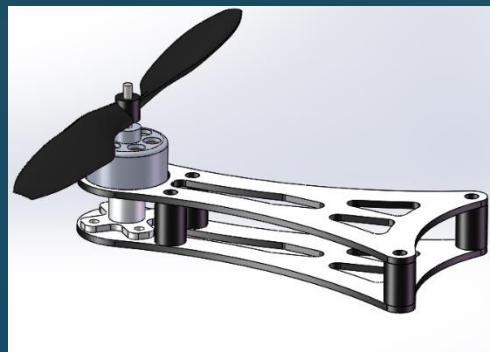
模态分析流程-创建三维模型

模型简化:

- (1)忽略对分析影响较小的特征命令: 忽略悬臂模型中所有较小的倒直角和倒圆角特征的命令。
- (2)去除对分析影响较小的多余零件: 去除悬臂模型中用于紧固连接的螺栓、螺母、桨夹等零件。



简化前悬臂结构的三维模型



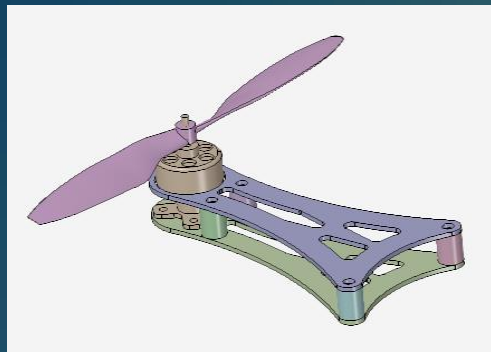
简化后悬臂结构的三维模型



模态分析流程-导入模型



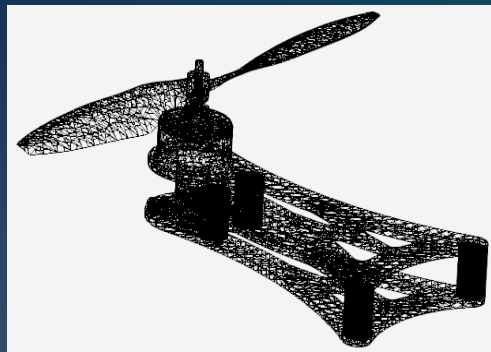
简化后悬臂结构的三维模型



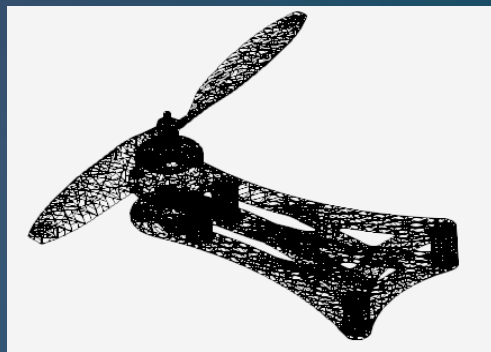
导入ANSYS AIM

将通过SolidWorks创建的简化后的悬臂结构模型导入到ANSYS AIM中，由于ANSYS AIM已经与SolidWorks的格式进行互通，因此可以直接将SolidWorks生成的模型文件进行导入，不需要再经过通用格式的转换。

模态分析流程-划分网格



网格诊断



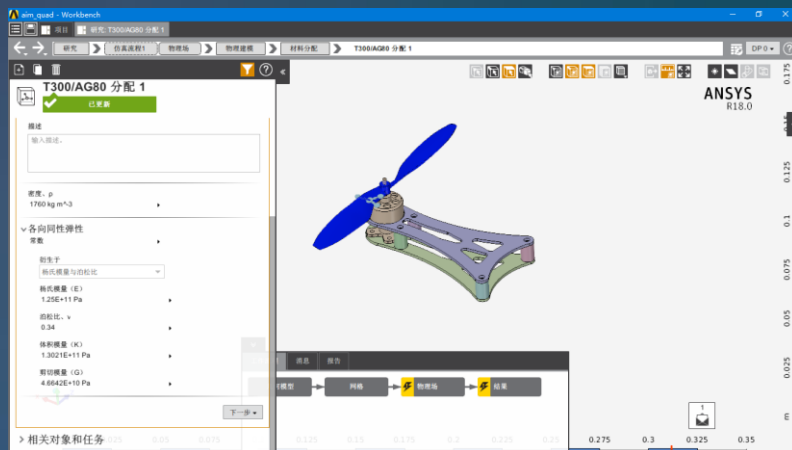
划分精度

划分网格

模态分析流程-设置材料

悬臂结构各部件的材料参数表

部件	材料	密度 (kg/m ³)	弹性模量 (Pa)	泊松比
螺旋桨叶	T300/AG80	1760	1.25×10^{11}	0.34
支撑臂/柱	T700-SC	1800	2.3×10^{11}	0.31
无刷电机	6061	2700	6.9×10^{10}	0.33

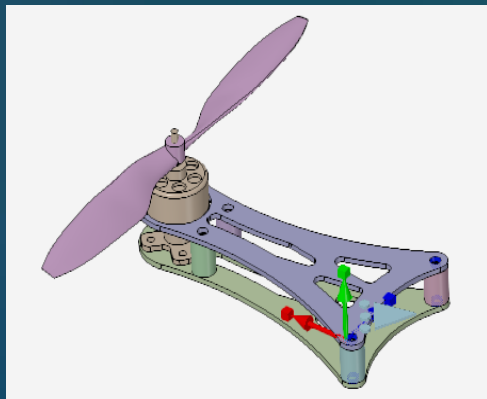
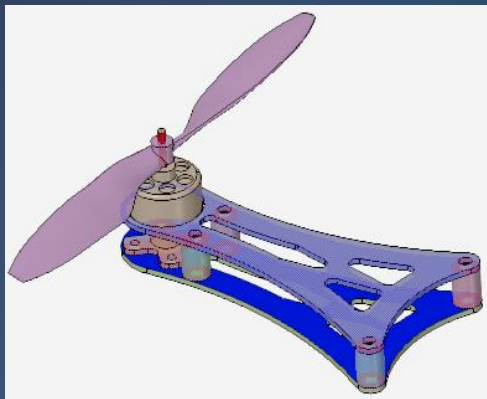




模态分析流程-定义约束条件

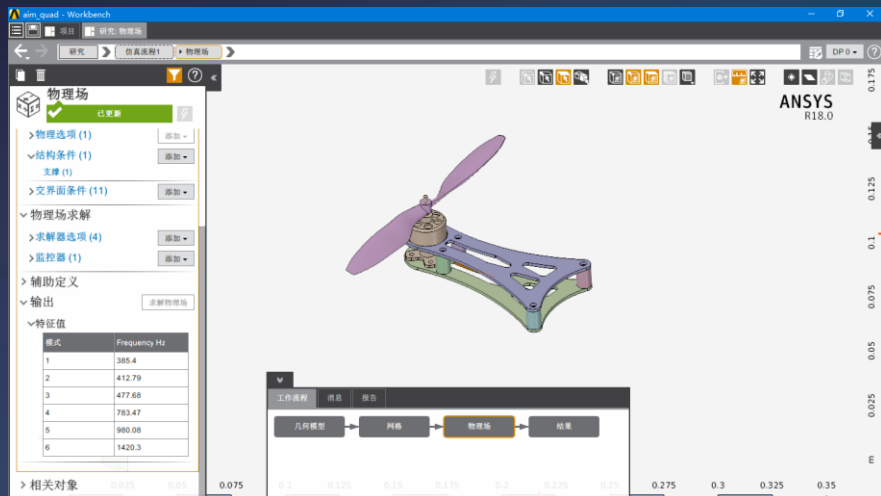
约束条件的定义主要分为以下二个方面：

- (1)根据各零部件的接触情况对所有的交界面条件进行定义，最终设置了10个粘结面接触。
- (2)结合三维模型装配结构，在悬臂结构与中心部位支撑架的连接处配置了4个支撑约束。



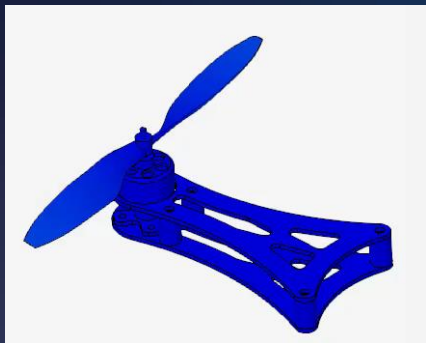
模态分析流程-计算结果-固有频率

悬臂结构前六阶固有频率

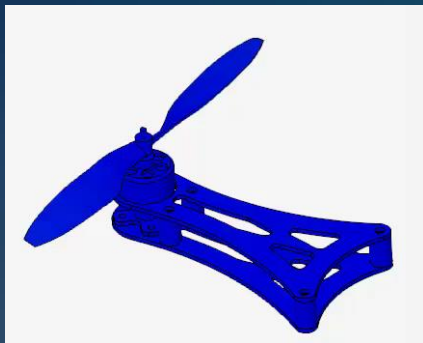


模态阶数	固有频率/Hz
1	385.42
2	412.79
3	477.68
4	783.49
5	980.09
6	1420.34

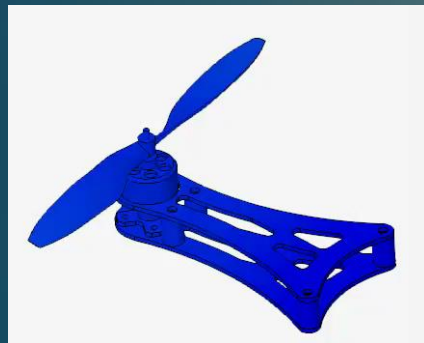
模态分析流程-计算结果-振型图



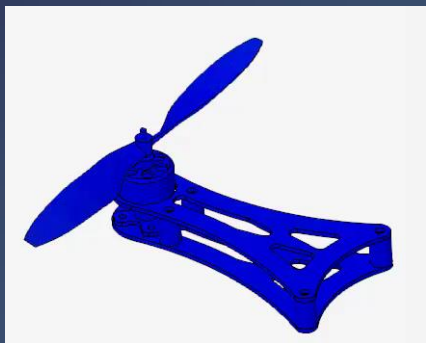
一阶模态振型



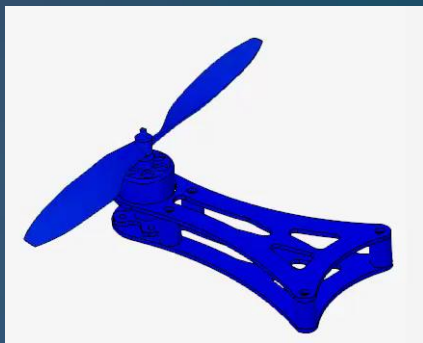
二阶模态振型



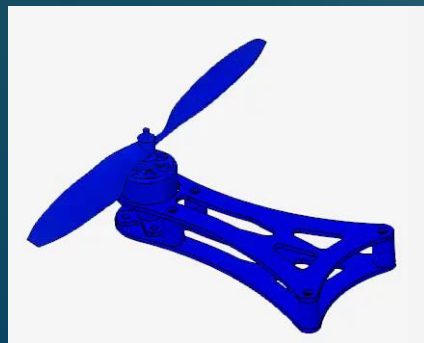
三阶模态振型



四阶模态振型



五阶模态振型



六阶模态振型

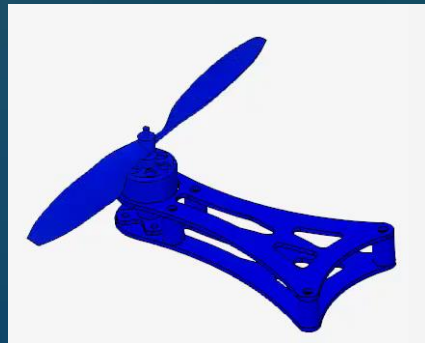
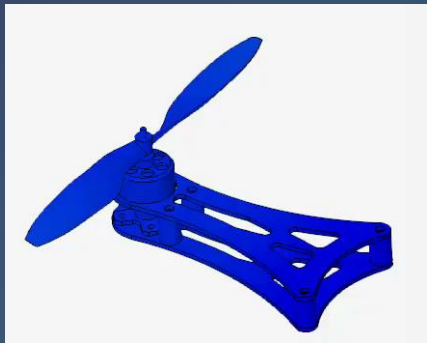
结果分析

通过仿真分析得到了悬臂结构从第一阶到第六阶的固有频率以及相对应的模态振型。最终悬臂结构前六阶的固有频率主要分布在385.42Hz-1420.34Hz区间内，并且所对应的振型主要分为两种：

一是螺旋桨叶的振动，从先前的振型可以看出第一阶、第五阶振型反映的是螺旋桨叶的扭转变形。第二阶、第四阶振型反映的是螺旋桨叶的弯曲变形。第三阶、第六阶振型反映的是螺旋桨叶的复合变形(弯曲变形加扭转变形)。

二是支撑臂的振动，从下图可以看出支撑臂在第三阶振型中出现了较小的弯曲变形，在第六阶振型中出现了一定的扭转变形。

同时结合各阶模态的固有频率以及振型图可以看出，固有频率与模态的阶次呈现正相关的关系，并且支撑臂的振动相较于螺旋桨叶的振动较小。



结果分析

在实际使用过程中，悬臂结构主要的激励源为无刷电机，即在四轴飞行器处于运动状态时，无刷电机将会引起整个悬臂结构产生振动。在设计时，四轴飞行器所选用的无刷电机型号为“D1811-2000KV微型外转子无刷电机(10g)”，其无负载转速可高达14800rpm，而在实际运行过程中由于存在负载，虽然此时的最大转速有所下降，但是也可以达到9700rpm，而无刷电机运行时所产生的理论振动频率可由以下公式进行计算：

$$f = \frac{nP}{60}$$

式中， f 代表带负载工作时的频率

n 代表无刷电机带负载时的最大转速

P 代表无刷电机的极对数, $p=2$



带入相关参数，最终得到的无刷电机在带负载时所产生的理论振动频率为323.33Hz

由模态分析的结果可知，悬臂结构第一阶所对应的固有频率为385.42Hz大于无刷电机引起的理论振动频率323.33Hz，且存在一定的余量。同时由于所有的阶数中一阶模态的固有频率最小，因此证明了所选型的无刷电机能够在满足实际需求的同时，不会引起悬臂结构的共振。同时另一方面也说明了所设计的悬臂结构从结构设计到部件材料的选择均满足动力学设计的要求。

总结

本文首先使用SolidWorks三维建模软件对四轴飞行器的悬臂结构进行了相应的理论建模，而后为了提高有限元分析的计算效率对悬臂结构进行了简化处理，然后将简化后的模型导入到ANSYS AIM中进行分析，通过网格划分，材料设置、边界条件定义等配置后完成了模态分析。最后得到了整个悬臂结构在运行时的固有频率与振型图。

结合相应的固有频率和振型图分析可知，对四轴飞行器的悬臂结构来说，只要保证所选型的无刷电机在带负载工作时所产生的振动频率小于悬臂结构一阶模态的固有频率，即可保证在使用过程中不会产生共振的现象，从而保证四轴飞行器在运动过程中的平稳性和安全性。

通过模态分析的结果可知，本文所使用飞行器的悬臂结构以及所选型的无刷电机型号均能够满足所需的使用要求。此外基于ANSYS AIM 有限元分析软件，结合其向导式的仿真流程，能够在完成相应仿真分析需求的同时，大大减少了学习的成本，进而加快了在项目设计时的理论验证周期。