

农业无人机模块化设计及有限元分析

杨 进

上海理工大学机械工程学院, 上海

收稿日期: 2023年3月6日; 录用日期: 2023年5月11日; 发布日期: 2023年5月18日

摘 要

近年来,随着信息技术的不断进步,使得无人化农业成为可能,其中农业无人机产业呈现良好发展前景。本文利用Solidworks模块化设计了一种农业无人机模型,克服了传统四旋翼无人机零配件拆装困难等问题,在材料的选择上兼顾重量和承载力,在受力零件采用了7050铝合金和合金钢,轻量化的同时提升了整体的力学性能,然后导入到Ansys Workbench软件,对无人机中重要零件进行静力学分析,对结构进行分析验证合理性,最后在不同工作条件下的仿真实验条件下,确定了无人机模型。

关键词

模块化设计, 农业无人机, Ansys Workbench

Modular Design and Finite Element Analysis of Agricultural UAV

Jin Yang

School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Mar. 6th, 2023; accepted: May 11th, 2023; published: May 18th, 2023

Abstract

In recent years, with the continuous progress of information technology, unmanned agriculture has become possible, among which the agricultural drone industry shows good prospects for development. In this paper, an agricultural UAV model is designed using Solidworks modularization, overcoming the problems of traditional quadrotor UAV parts disassembly and assembly difficulties, taking into account the weight and load-bearing capacity in the selection of materials, using 7050 aluminum alloy and alloy steel in the stressed parts, which improves the overall mechanical properties while lightweight, and then imported into Ansys Workbench software to The important parts in the UAV are analyzed statically, the structure is analyzed to verify the rationality, and fi-

nally, the UAV model is determined under the simulation experimental conditions of different working conditions.

Keywords

Modular Design, Agricultural Drones, Ansys Workbench

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

随着无人机技术的发展, 农业现代化也随之迎来崭新局面, 从农业机械化到农业智能化, 无人机成为现代农业不可或缺的一环。我们以农业无人机使用率非常高的黑龙江建三江地区为例, 此地 90% 的水稻农作物都使用过无人机服务[1]。而无人机对无人农业能提供三种信息, 分别是第一种, 空中观察作物, 及时发现土壤和灌溉问题; 第二种, 提供多层次的图片, 可以采集普通视觉图片和红外图片, 帮助农民发现肉眼无法观察到的农作物健康问题; 第三种, 巡航记录数据, 以便分析农作物长势[2]。

目前, 发达国家在 20 世纪中叶就实现了农业机械化, 农业植保无人机已经使用了近 30 年。美国、俄罗斯、澳大利亚、日本等国家无人机的技术最为先进。在 20 世纪八十年代, 日本就已经自主研发出可一次可以携带 20 kg 农药的农业无人机进行施药防治[3]。我国农业无人机起步时间较晚, 1995 年才首次引入日本无人机进行蝗虫防治工作, 但随着国家的重视以及科技的发展, 我们也取得了巨大进步。

但是传统的无人机通常是一体化设计和整机制造, 这限制了无人机的使用场景。在现代制造业中, 模块化设计指的是对不同功能部分的分化与接口部件的参数管理, 满足不同环境下的需求, 降低成本, 实现标准化生产[4]。因此, 本文提出了模块化设计无人机, 简化其结构, 同时设计了一种螺旋输送投料装置, 可提高生产效率, 减少人力成本。

2. 无人机主要结构设计

本文中的农用无人机主要是由机身框架, 电源模块, 驱动模块和投料装置组成。其中机身框架就是其他模块提供装配空间, 使其连接配合成为一个整体。电源模块就是电源和线路, 为无人机提供能源动力。驱动模块就是我们的电机和马达, 保证无人机的稳定性和灵活性。最后投料装置选用抓手装置和螺旋弹簧输送装置配合, 保证投料。

2.1. 无人机机身框架

对农用无人机的机身框架设计原则可以概括为以下几点:

- 1) 实现农用无人机的轻量化和保证其结构强度。
- 2) 零件易于加工和装配。

对比目前的无人机常用材料有: 碳纤维复合材料, 7050 系列铝合金等, 而碳纤维材料具有高比强度和高比刚度特性, 抗疲劳能力和抗振能力强的特点, 且整体重量减轻了约 25%~30% [5]。但是因其材料特性不适合与其他材料零件进行配合连接, 所以不适合用于模块化设计。相反地, 7050 系列铝合金却能满足条件, 选其作为机身材料。

整体结构设计为了易于加工，采用长方形结构，如图 1 所示。这里无人机扇叶采用了四旋翼结构，由四个无刷电机和螺旋桨组成。为减轻机身重量，主体结构进行镂空设计。将电池固定在无人机上方中心处，可以降低投料时的对无人机重心的影响。

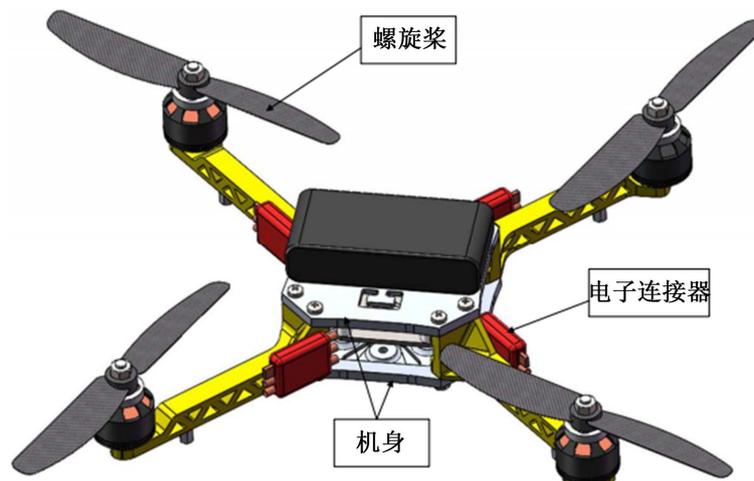


Figure 1. Schematic diagram of the UAV framework
图 1. 无人机框架示意图

而在农业实际运用中，操作者可能由于操作失误等各种因素致使无人机与其他物体碰撞，导致扇叶和机臂损坏，因此对这两者进行了快速拆卸设计，如图 2 所示。机臂和机身，马达与机身和扇叶都是采用了螺钉固定，这样在维修时只需拆卸螺钉，即可更换受损零件，这种设计极大地提升了维修效率，也延长了无人机的使用寿命。

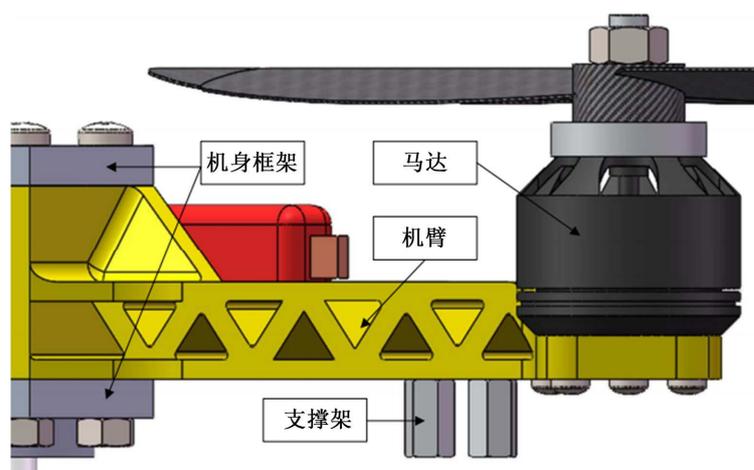


Figure 2. Schematic diagram of quick disassembly design
图 2. 快速拆卸设计示意图

2.2. 无人机投料装置

常见的抓取装置有两种：第一种是用塑料瓶为主体制造的，用瓶子当抓手，利用舵机收瓶口实现抓取，但这对无人机的飞行降落稳定性要求极高；第二种是用两个矩形的 PVC 塑料板制作抓手，但张开的板子会受到螺旋桨的滑流作用产生侧向的力，严重影响飞机稳定，造成飞机难以控制的后果[6]。

因此通过 Solidworks 建模设计了一种安装在无人机底部的投料装置，其主要由抓手，储料瓶，马达，弹簧，伸缩轴和主架组成，整体外观如图 3 所示。其工作原理是马达带动伸缩轴转动，伸缩轴通过与抓手的连接件带动其实现抓取动作，与此同时，弹簧实现搅拌功能，实现投料。它的优势就是结构简单，抓取范围大，对飞行器降落位置要求不高等特点。

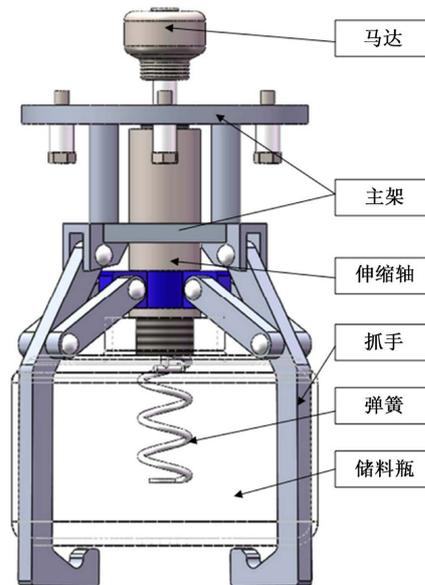


Figure 3. Schematic diagram of feeding device
图 3. 投料装置示意图

本文注重的无人机机械结构设计，不涉及元器件选型。最后为了后续可以在此基础上实现如监控、巡逻等功能的所需的电子元器件留有空间，无人机整体外观如图 4 所示。无人机机身和投料装置可拆卸而分开，使其适应不同任务，比如为无人机需要进行巡航等任务时减重，延长其运行时间。而且在图 2 中的支撑架就是在两者分开后，机身停飞是与地面的接触零件。

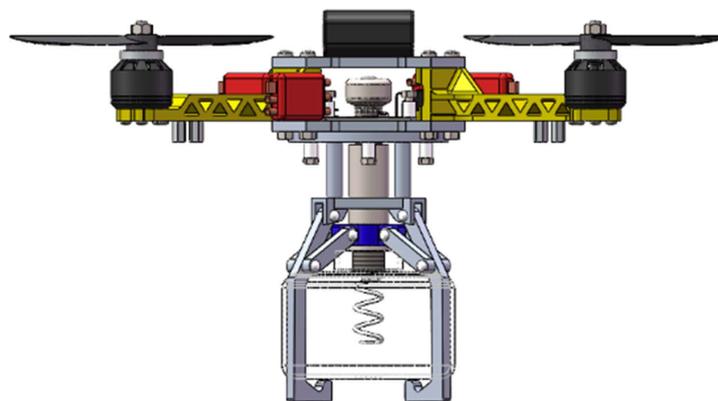


Figure 4. Overall appearance of the drone
图 4. 无人机整体外观

3. 静力学分析

作为静力学最为重要的一部分就是材料的设置，本文无人机选用的材料参数如表 1 所示。

Table 1. Material parameters**表 1.** 材料参数

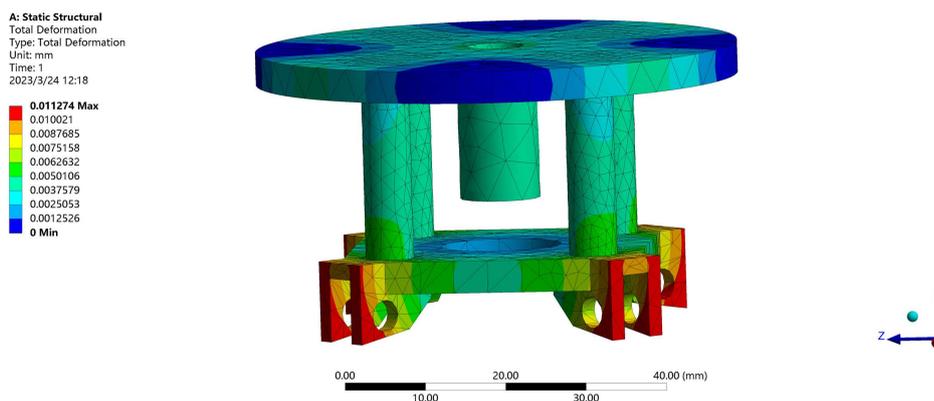
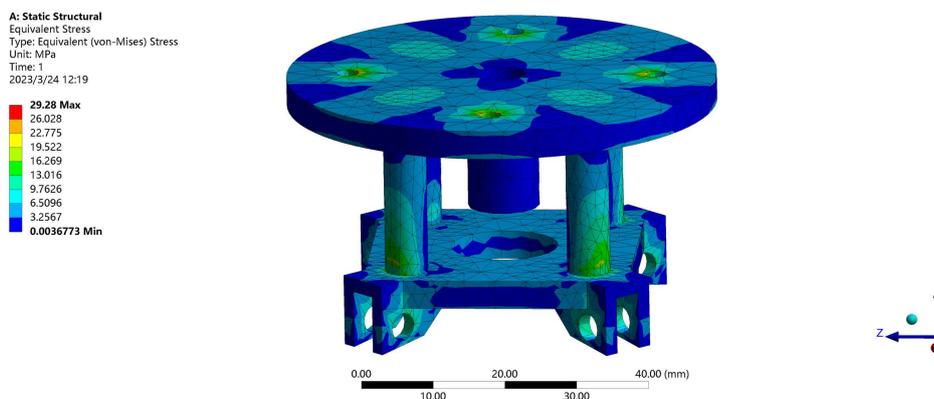
材料	弹性模量(Pa)	泊松比	密度(Kg/m ³)
7050-7451 铝合金	7.2×10^{10}	0.33	2.81×10^3
合金钢	2.1×10^{11}	0.28	7.7×10^3

3.1. 主架

主架的材料采用了 7050-T7451 铝合金，在考虑重要部件和计算量的情况下，对机架连接孔的网格采取 2 mm 的网格尺寸，其余采用 5 mm 的网格尺寸。节点数量 24,585 个，单元数量 14,674 个。

因主架上表面连接无人机机身部分，故在上表面进行固定约束并对其施加重力。假设抓手抓取 50 Kg 的重物，且无人机机身自重 30 Kg，则分担到每个抓手需要承受 125 N 的力，主架上表面承受 300 N 的力。

从图 5、图 6 可以知道，主架在此工作条件下的最大变形量为 0.011274 mm，发生在抓手连接孔位置处。而最大力发生在上表面螺钉孔中，最大应力为 29.28 Mpa。可分析得到此处发生了应力集中现象，即受力弹性体内有孔、槽、切口等情形时，内部的应力会急剧局部增大，孔边的应力远大于无孔时的应力，也远大于距孔边稍远处的应力[7]。

**Figure 5.** Strain cloud of the main frame**图 5.** 主架的应变云图**Figure 6.** Stress cloud diagram of the main frame**图 6.** 主架的应力云图

3.2. 抓手

抓手的材料设置为 7050-T7451 铝合金，因其结构简单，计算量小，对其网格划分精度采用 2 mm。考虑无人机工作时，4 个抓手共承载 50 Kg 的重物时，对其受力孔施加垂直向下的 125 N 的载荷，对抓手底端施加固定约束，命名这种工作条件为条件 1。

从图 7、图 8 可以看出，此种工作条件下的抓手最大变形量为 0.7 mm，发生在抓手底端，最大应力为 116.92 MPa，发生在抓手夹角处。

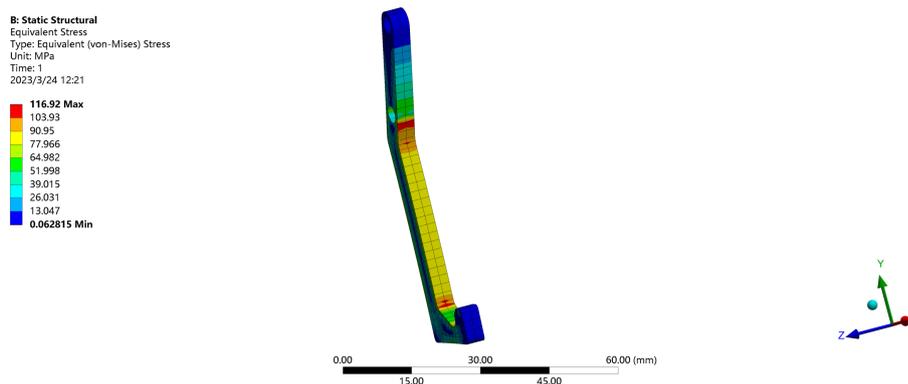


Figure 7. Strain cloud diagram of gripper (Condition 1)

图 7. 抓手的应变云图(条件 1)

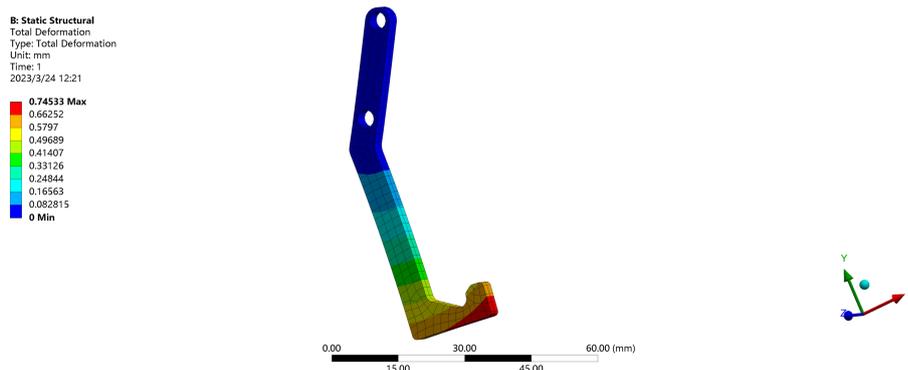


Figure 8. Stress cloud diagram of gripper (Condition 1)

图 8. 抓手的应力云图(条件 1)

接下来我们对无人机抓手静止在地面时进行分析，我们在孔位置施加了 125 N 的载荷，在抓手底部施加固定约束，命名这种工作条件为条件 2。在图 9 中，我们不难看出最大变形处于抓手上方连接孔，变形量为 0.19704 mm，因其处于边界之处，容易多次使用后断裂，因此对结构进行优化调整是有必要的。

我们对抓手的连接孔位置进行转移，对抓手底部受里进行添加材料厚度，改变材料为合金钢，参数如表 1 所示。在相同的工作条件下(即条件 1 和 2)优化调整后的抓手在进行静力学分析。

对比优化前和优化后的抓手应变图，进行了改变材料、厚度和孔位置的新抓手表现出来的力学性能是优于前者的。从图 10 和图 11，可以知道条件 1 下的最大变形量从 0.74533 降低为了 0.23753 mm，降低了约 0.5 mm。条件 2 下的最大变形量从 0.19704 降低为 0.16739 mm，整体变化虽然不大，但是从整体来看，这也是有必要的。因此基于机身框架设计原则我们将抓手的材料从 7075 铝合金更换为合金钢，使其承受载荷的能力更强的同时，延长使用寿命。

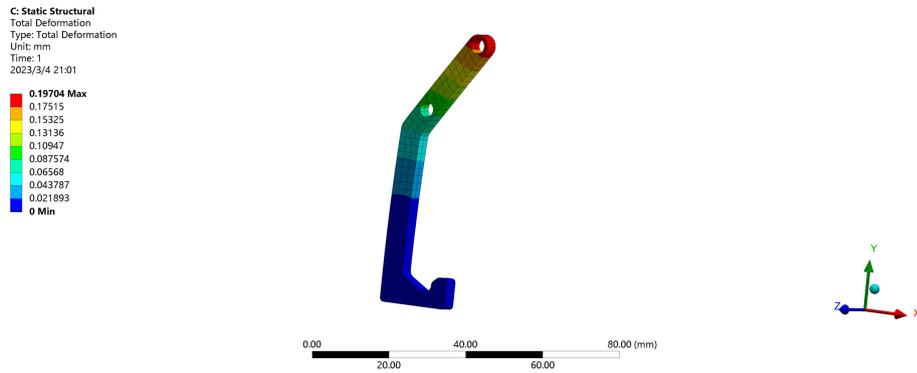


Figure 9. Strain cloud diagram of gripper (Condition 2)
图 9. 抓手的应变云图(条件 2)

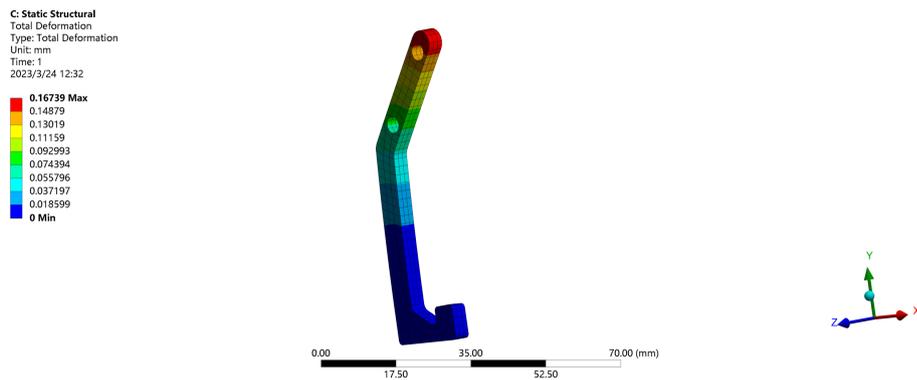


Figure 10. Optimized gripper strain cloud (Condition 1)
图 10. 优化后的抓手应变云图(条件 1)

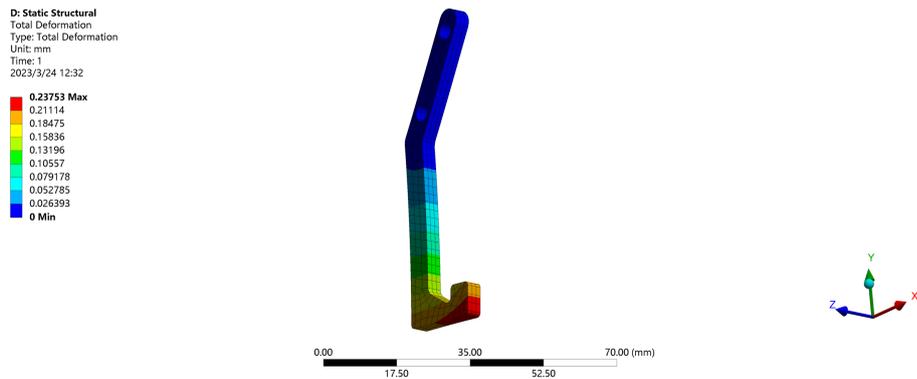


Figure 11. Optimized gripper strain cloud (Condition 2)
图 11. 优化后的抓手应变云图(条件 2)

4. 结论

本文利用 Solidworks 模块化设计了一款农业无人机，重点是结构的合理性，如何进行下一步的智能控制需要深入研究，这也是本文的无人机留有电子元器件空间的原因。对无人机机身的重要零件进行了力学分析，主架的最大变形为 0.011274 mm，这样的变形量是可接受的，而最大应力为 29.28 Mpa，也远远小于 7050-7451 铝合金材料的屈服强度，说明材料选用是合理的，结构强度也是满足要求的。而设计的抓手装置最终选定材料为合金钢，其最大变形量为 0.23753 mm，也是满足强度原则。

参考文献

- [1] 程忠义. 2020 年度植保无人机行业发展报告发布[J]. 中国农资, 2021(7): 16.
- [2] 宋建坤. 《农业无人机: 和平的追求》(节选)汉译实践报告[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北师范大学, 2021.
- [3] 张帅. 农用植保无人机技术及应用特点[J]. 当代农机, 2021(9): 23-24.
- [4] 张建哲, 刘延芳, 陈睿翔, 刘陆尧, 王鑫. 无人机模块化设计与自组织优化研究[J]. 机电产品开发与创新, 2023, 36(1): 20-23.
- [5] 潘荣华, 宋国栋, 杨学永. 无人机复合材料结构和制造工艺[J]. 南京航空航天大学学报, 2009, 41(S1): 119-122.
<http://doi.org/10.16356/j.1005-2615.2009.s1.024>
- [6] 薛彩梁, 乔栋. 某空中飞行器抓取装置结构优化设计[J]. 现代国企研究, 2016(10): 123.
- [7] 徐芝纶. 弹性力学(上册) [M]. 第 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.