



天津中德应用技术大学  
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

## 本科生毕业设计

小型固定翼无人机机身结构设计  
Small Fixed-wing UAV Fuselage Structure Design

姓 名 周梓叶

学 院 航空航天学院

专 业 飞行器制造工程

指导教师 张健

职 称 讲师

完成时间 2022 年 5 月 30 日



天津中德应用技术大学

Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

## 本科生毕业设计

小型固定翼无人机机身结构设计

Small Fixed-wing UAV Fuselage Structure Design

姓 名 周梓叶

学 院 航空航天学院

专 业 飞行器制造工程

指导教师 张健

职 称 讲师

完成时间 2022 年 5 月 30 日

# 天津中德应用技术大学

## 本科生毕业设计（论文）选题申报表

|                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |             |      |     |    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------|------|-----|----|----|
| 学 院                                                                                                | 航空航天学院                                                                                                                                                                                                                                                                                              |      | 申<br>报<br>人 | 姓 名  | 张 健 |    |    |
| 专 业                                                                                                | 飞行器制造工程                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |             | 技术职务 | 正高  | 副高 | 中级 |
|                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |             |      |     | √  |    |
| 题目名称                                                                                               | 小型固定翼无人机机身结构设计                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |             |      |     |    |    |
| 题目类型                                                                                               | 自拟                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 题目来源 | 其他项目        |      |     |    |    |
| 课题来源、背景及意义                                                                                         | <p>无人机对比有人机具有诸多优势，由于没有飞行员，更适于执行危险性高的任务，同时在使用维护方面，无人机比较简单，费用低，操纵员只需要在地面站进行训练，无需上天飞行。小型固定翼无人机未来在民用方面的运用会越来越广泛，可用于搜索营救、交通监管、资源勘探、航空拍摄、森林防火、气象探测、农作物评估、管道电线巡检等。目前国内一些民营企业在原来的航模基础上进行改装制作小型无人机，由于技术力量薄弱、制作工艺简单，航模级产品专业级无人机性能与可靠性差距较大，满足不了专业用户对无人机的性能要求。因此，本设计基于拓扑优化，对无人机机身进行轻量化设计，以满足小型固定翼无人机对性能的要求。</p> |      |             |      |     |    |    |
| 任务及要求                                                                                              | <p>(1) 完成小型固定翼无人机机身轻量化设计；<br/>           (2) 完成小型固定翼无人机机身与机翼连接的处的设计；<br/>           (3) 完成小型固定翼无人机机身强度验证。</p>                                                                                                                                                                                       |      |             |      |     |    |    |
| 工作条件                                                                                               | Solid works 建模软件，拓扑优化软件                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |             |      |     |    |    |
| 知识与能力要求                                                                                            | <p>具有文献检索、收集资料及使用各种设计规范、手册和技术标准的能力；<br/>           具有飞机结构设计基本知识；<br/>           具有机械设计原理基础知识；<br/>           具有三维建模的能力。</p>                                                                                                                                                                         |      |             |      |     |    |    |
| <p>系（教研室）审查意见：<br/>           同意</p> <p style="text-align: right;">负责人(签名)：张健 2021 年 11 月 28 日</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |             |      |     |    |    |



**天津中德应用技术大学**  
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

## 毕业设计（论文）任务书

题    目： 固定翼无人机机身设计

学    院： 航空航天学院

专    业： 飞行器制造工程

学生姓名： 周梓叶

学    号： 18414020328

起止日期： 2021 年 12 月 4 日～ 2022 年 6 月 3 日

指导教师： 张健

任务书下达日期： 2021 年 12 月 3 日

## 任务书填写要求

1. 毕业设计（论文）任务书由指导教师根据各课题的具体情况填写，经专业负责人审查签字后生效。此任务书应在毕业设计（论文）开始前一周内填好并发给学生；
2. 任务书内填写的内容，必须和学生毕业设计（论文）完成的情况相一致；
3. 任务书内有关“学院”、“专业”等名称的填写，应写中文全称，不能写数字代码。学生的“学号”要写全号（如：16014010101）；
4. 有关年月日等日期的填写，应当按照国标 GB/T 7408—94《数据元和交换格式、信息交换、日期和时间表示法》规定的要求，一律用阿拉伯数字书写。如“2004 年 3 月 21 日”或“2004-03-21”。
5. 本毕业设计（论文）课题成果的要求，内容要具体化和数量化。如“毕业设计（论文）一套；A0 号装配图纸 1 张；A2 号电气控制原理图纸 2 张；实物样机 1 台；产品 2 件”等。

# 毕 业 设 计（论文）任 务 书

## 1. 毕业设计（论文）课题背景及意义

**课题背景：**伴随科技的发展，面对人类无法胜任的高难度、高风险与高含量的任务。无人机应运而生。它替代有人驾驶的飞机去执行这些任务。无人机是一种有无线电来操控的设备，遂有人称其为遥控驾驶航空器。它能够趋于完美的利用人工智能、信号处理和自动驾驶等精尖技术，并由于它具有体积小、无人驾驶和航程远等优势被广泛应用，在自然环境考察、科普研究、农业领域、维护国家主权与公共卫生安全等等许多方面都有所应用。目前这种趋于多元化的应用使得各国都加快探索、开发的步伐。

无人机的发展具有悠久的历史，1909 年世界上第一架无人机在美国试飞。一战时期，1914 年英国军方秘密研究无人机，英德两国在 1917 年前后取得技术上的突破。1927 年，无人机可载弹、空中投靶、投放鱼雷。20 世纪 60 年代美国投入军事无人机在美越战争中，对越进行侦察、空中打击与目标摧毁。1973 年第四次中东战争中，以色列利用无人机成功捣毁埃及部署的地空导弹防空网。20 世纪末，许多国家研制出新时代的军用无人机，很大程度上改变了军事战争和军事调动的原始形式[1]。目前，无人机技术处于世界领先水平的是美国，以色列是无人机的出口大国但在技术方面完全依靠美国，欧洲国家中俄、英、法、德等国家无人机技术发展较快。我国周边国家如日本、印度、韩国等主要依靠外国进口，自主研发力量薄弱。2009 年以来，美国在无人机创新方面取得重大突破而且已经实现首次大规模商用。其携带起来特别方便，操作简单直接用手机或平板就可以而且应用范围颇广。

我国研究起步较晚，20 世纪 70 年代，我国才开始自主研发无人侦察机，80 年代初装备部队。改革开放以后，在民用领域中探索可行性，中国航空事业经过 60 多年的辛酸历程，从无到有逐步成为我国经济发展的支柱。我国从事无人机行业的单位有 300 多家，形成了配套齐全的研发、制造、销售和服务体系的有 160 家左右。研制投入使用的无人机型多达百余种，小型无人机技术已逐步完善，战略无人机已成功试飞，攻击无人机也已试射空地导弹多次成功。我国在 2014 年无人机销售量 2 万架左右。50%以上的增长在未来几年将持续保持，在 2014 年我国民用无人机销售规模已经达到 40 亿元。2002 年-2015 年 7 月，国内与无人机相关的专利申请 15 245 件，其中，新型专利占比 37.48%，发明型技术专利占 57.39%，外观专利占比 5.13%。

我国无人机发展存在的问题。1) 行业规划与规范问题。存在低水平重复、重复投资、高端项目攻破困难。2) 发动机瓶颈问题。发动机的问题很大程度上制约着我国无人机的发展，一方面是对发动机也提出了特殊的要求的无人机特定的高空低雷诺、大过载等飞行条件；另一方面研制基础本身较为薄弱。涡扇发动机是未来应用的

主要走向与国外的差距较为明显，达不到无人机对飞行速度、航时等指标的要求。3) 无人机行业人才紧缺。据初步判断，我国在 2018 年需要无人机从业人员达 40 万人次，截至 2016 年 10 月，国内持证从业的飞手、维修、研发等人员却不到 10 000 人。

我国无人机发展存在的技术弱点是借鉴外国现有的技术并自主研发，其技术层次达不到强国水准，不管军用或民用的在精准度、控制力、信息传输、机动性等许多能力上都较为薄弱。

立足于国内外无人机的发展现状，纵观无人机的存在问题及技术弱点。为了适应未来在各个领域的应用应顺应科技的改革，着手科技创新，借鉴国外的成功经验，积极研究探索，运用高端科技，保护自主知识产权，培养专业人才，掌握核心技术，实现跨越发展。无人机的发展逐步趋于多元化在军需民用方方面面都有所涉猎，未来一个时期，提高现有的技术，更多的培养高端人才，解决并突破技术难关是发展无人机的关键。

课题目的：对固定无人机的机身进行设计。

课题意义：优化无人机的机身设计，提供一种可行简便的机身设计。

## 2. 毕业设计（论文）课题任务的内容和要求

工作内容：

1. 查阅整理无人机机身相关文献制定研究方向及内容。
2. 综合运用理论知识、基本知识和专业技能。
3. 设计制定具体方案。
4. 分析、论证方案的具体理论可行性和实际可行性。
5. 整理相关资料。
6. 得出结论并撰写论文。

要求：

1. 掌握无人机的机身机身设计思路。
2. 掌握具备制图、分析、论证的相关能力。
3. 掌握编辑文献、资料、软件使用等相关能力。

3. 毕业设计（论文）课题成果（包括毕业设计论文、图表、实物样品等）：

一篇毕业论文及其仿真模拟

4. 推荐参考资料：

- [1]刘来祥. 无人机机身束桨器[P]. 广东省：CN306869994S, 2021-10-08.
- [2]吴静, 王慧敏, 孙晓非. 无人机机身[P]. 山东省：CN306530638S, 2021-05-11.
- [3]肖跃煌. 无人机机身[P]. 福建省：CN306261249S, 2021-01-01.
- [4]肖跃煌. 无人机机身[P]. 福建省：CN306078037S, 2020-09-29.
- [5]邵雪明, 曾丽芳, 叶尚军, 黎军, 陶伟明. 一种气动隐身一体化设计的超音速隐身无人机[P]. 浙江省：CN111516871A, 2020-08-11.
- [6]周明, 安斌, 汪强, 兰小鹏, 宋宜凡, 郭志永, 张鑫, 金锐, 李德庚, 王国飞, 李海飞, 魏雅静, 任宇, 臧欢, 张恬, 王维, 杨晨. 无人机机身 (ASN-218) [P]. 陕西省：CN305932992S, 2020-07-21.
- [7]周明, 安斌, 兰小鹏, 宋宜凡, 王国飞, 汪强, 李德庚, 郭志永, 张鑫, 金锐, 李海飞, 魏雅静, 任宇, 臧欢, 张恬, 王维, 杨晨. 无人机机身 (ASN-216) [P]. 陕西省：CN305932993S, 2020-07-21.
- [8]不公告设计人. 无人机机身[P]. 江苏省：CN305835169S, 2020-06-09.
- [9]杨苡, 王增文, 孙俊田. 固定翼机身[P]. 北京市：CN305742876S, 2020-04-28.
- [10]杨立. 四旋翼无人机机身[P]. 广东省：CN305093168S, 2019-04-02.
- [11]杨立. 六旋翼无人机机身[P]. 广东省：CN305093169S, 2019-04-02.
- [12]代海亮. 十公斤级民用复合材料固定翼无人机结构与强度分析[D]. 中国民用航空飞行学院, 2019.
- [13]徐凯, 厉志成, 徐雷雷, 王霖, 张国荣, 樊昊, 薛赛男, 李兆晨. 无人机机身[P]. 天津市：CN305086453S, 2019-03-29.
- [14]宋文龙, 吕娟, 杜绵银, 李建国, 王学风, 李青, 吴迪, 史杨军. 一种仰首式手抛小型固定翼无人机机身[P]. 北京：CN108725743A, 2018-11-02.
- [15]胡克飞. 无人机机身(带散热片)[P]. 浙江：CN304857094S, 2018-10-19.

[16]王红雨,赵珣,鹿存跃,刘英,刘志豪,汪梁,胡江颢,章宝民,方成,尹午荣,李聪. 一种具有驱动部件倾角设计的倾转机身无人机[P]. 上海: CN108248855A, 2018-07-06.

所在专业审查意见:

同意

负责人: 张健

2021 年 12 月 10 日



天津中德应用技术大学  
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

## 本科生毕业设计（论文）开题报告

题    目： 固定翼无人机机身设计

学    院： 航空航天学院

专    业： 飞行器制造工程

学生姓名： 周梓叶

学    号： 18414020328

起止日期： 2021 年 12 月 4 日～ 2022 年 6 月 3 日

指导教师： 张健

开题日期： 2021 年 12 月 3 日

## 一、 开题报告内容（课题的目的意义、与本课题有关的国内外研究（应用）情况及发展趋势、课题主要研究内容、参考文献等）

### 1. 课题的目的和意义：

课题目的：对固定无人机的机身进行设计。

课题意义：优化无人机的机身设计，提供一种可行简便的机身设计。

### 2. 国内外研究情况及发展趋势：

无人机：无人驾驶飞行器的简称（UAV），诞生到今天已经有了 100 多年的历史，由于时代的进步，科技的飞速发展无人机在硬件、软件 and 数据处理都有了很大的突破，从而导致无人机成为了市场的主流。国内最早出现在美国，1909 年世界上第一架无人机在美国试飞，并取得了不错的成绩。接下来的几年里，英德两国也开始研究无人飞机，并且在 1917 年先后在此技术研究上取得成功。在无人机问世以来，军事领域显得兴趣盎然，现在对无人机的研究也多数是出于军事使用的目的。在 20 世纪 60 年代，无人机已经开始应用到军事领域，在美越战争中，美国就使用了这种无人机来进行军事侦察、空中打击和目标摧毁。但是，最经典的无人机作战运用，属于以色列人。在第四次中东战争中，以色列使用 BQM-74C 无人机，成功地摧毁了埃及沿运河部署的地空导弹基地。在以色列入侵黎巴嫩时，利用猛犬无人机摧毁了黎巴嫩一些重要的导弹基地。美国在出兵阿富汗和袭击恐怖组织的时候也大量使用了无人飞机，并且在使用中也收到了一定的效果。在 20 世纪末，很多的国家已经研制出新时代的军用无人机，并且纷纷应用到军事领域，用于战场情报侦察、低空侦察和掩护、战场天气预报、战况评估、电子干扰和对抗、目标定位摧毁等，一定程度上改变了军事战争和军事调动的原始形式。

无人机在中国的起步较晚，且开始于中国军用领域。但由于近年来的发展民用无人机规模超过军用无人机。2014 年，中国无人机行业贡献度主要以军用无人机为主，贡献率高达 90%，而民用领域则仅占 10% 左右。但民用领域的需求规模在近两年得到较大的释放，截止到目前，我国民用无人机市场规模占比超过军用无人机，达 58.5%，未来，行业市场结构仍将不断改变，民用无人机市场将不断扩大。

### 3. 课题的主要研究内容：

对固定无人机的机身进行设计

### 4. 参考文献：

[1]刘来祥. 无人机机身束桨器[P]. 广东省：CN306869994S, 2021-10-08.

[2]吴静,王慧敏,孙晓非. 无人机机身[P]. 山东省：CN306530638S, 2021-05-11.

[3]肖跃煌. 无人机机身[P]. 福建省：CN306261249S, 2021-01-01.

[4]肖跃煌. 无人机机身[P]. 福建省：CN306078037S, 2020-09-29.

[5]邵雪明,曾丽芳,叶尚军,黎军,陶伟明. 一种气动隐身一体化设计的超音速隐身无人机[P]. 浙江省: CN111516871A, 2020-08-11.

[6]周明,安斌,汪强,兰小鹏,宋宜凡,郭志永,张鑫,金锐,李德庚,王国飞,李海飞,魏雅静,任宇,臧欢,张恬,王维,杨晨. 无人机机身 (ASN-218) [P]. 陕西省: CN305932992S, 2020-07-21.

[7]周明,安斌,兰小鹏,宋宜凡,王国飞,汪强,李德庚,郭志永,张鑫,金锐,李海飞,魏雅静,任宇,臧欢,张恬,王维,杨晨. 无人机机身 (ASN-216) [P]. 陕西省: CN305932993S, 2020-07-21.

[8]不公告设计人. 无人机机身[P]. 江苏省: CN305835169S, 2020-06-09.

[9]杨苡,王增文,孙俊田. 固定翼机身[P]. 北京市: CN305742876S, 2020-04-28.

[10]杨立. 四旋翼无人机机身[P]. 广东省: CN305093168S, 2019-04-02.

[11]杨立. 六旋翼无人机机身[P]. 广东省: CN305093169S, 2019-04-02.

[12]代海亮. 十公斤级民用复合材料固定翼无人机结构与强度分析[D]. 中国民用航空飞行学院, 2019.

[13]徐凯,厉志成,徐雷雷,王霖,张国荣,樊昊,薛赛男,李兆晨. 无人机机身[P]. 天津市: CN305086453S, 2019-03-29.

[14]宋文龙,吕娟,杜绵银,李建国,王学风,李青,吴迪,史杨军. 一种仰首式手抛小型固定翼无人机机身[P]. 北京: CN108725743A, 2018-11-02.

[15]胡克飞. 无人机机身(带散热片) [P]. 浙江: CN304857094S, 2018-10-19.

[16]王红雨,赵珣,鹿存跃,刘英,刘志豪,汪梁,胡江颢,章宝民,方成,尹午荣,李聪. 一种具有驱动部件倾角设计的倾转机身无人机[P]. 上海: CN108248855A, 2018-07-06.

| 二、进度及预期结果           |                                                                                                       |             |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 起止日期                | 主要内容                                                                                                  | 预期结果        |
| 2021. 12. 21-12. 31 | 1. 课题选择和课题准备阶段                                                                                        | 确定选题        |
| 2022. 01. 01-02. 19 | 2. 文献收集整理阶段                                                                                           | 确定大概查找文献    |
| 2022. 02. 20-04. 01 | 3. 数据收集研究阶段                                                                                           | 研究整理数据和工作内容 |
| 2022. 04. 02-06. 04 | 4. 论文写作阶段                                                                                             | 撰写论文        |
| 完成课题的<br>现有条件       | 会 solidworks 建模软件<br>具有文献检索、收集资料及使用各种设计规范、手册和技术标准的能力；<br>具有飞机结构设计基本知识；<br>具有机械设计原理基础知识；<br>具有三维建模的能力。 |             |
| 指导教师<br>意见          | 同意开题<br><div style="text-align: right;">指导教师： 张健      2022 年 3 月 5 日</div>                            |             |
| 开题答辩<br>小组意见        | 同意开题<br><div style="text-align: right;">组      长： 张健      2022 年 3 月 5 日</div>                        |             |

天津中德应用技术大学

本科生毕业设计（论文）的声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本毕业设计（论文）的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本设计（论文）所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本毕业设计（论文）原创性声明的法律責任由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：周梓叶

年 月 日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过设计（论文）的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

毕业设计（论文）指导教师签名：

年 月 日

## 摘 要

随着时间的推移,各种新兴产业的兴起和各种技术的创新,无人机这个行业也迎来了一个新的世界。但是大多数对于无人机的研究都是偏向于系统控制,和机翼结构的设计,对无人机机身结构的设计并不是很多。就目前来说,我国固定翼无人机的常规用途,都是搭载各种设备进行,各种场景的应用,例如搭载微单相机进行场景勘测,搭载农药进行农药喷洒等等,然而搭载这些机载设备,需要无人机的承重的能力,还有续航的能力,都是有很大要求的。所以对固定翼的结构强度,承载能力,和无人机本身轻量化的设计都有很大的研究意义。目前国内一些民营企业在原来的航模基础上进行改装制作小型无人机,由于技术力量薄弱、制作工艺简单,航模级产品与专业级无人机性能、可靠性差距较大,满足不了专业用户对无人机的性能要求。

因此本文主要研究了小型固定翼无人机结构以及机身与机翼连接处的设计,利用 solidworks 软件中拓扑优化的功能对无人机机身结构件进行轻量化改进,首先设计小型固定翼无人机的初始结构,并用实际工况来验证结构强度,对固定翼模型中结构件进行静力分析。之后再使用 solidworks 软件进行轻量化改进,与此同时对优化后的结构进行静力分析,验证所设计的小型固定翼无人机的结构强度满足要求。

**关键词:** 小型固定翼无人机; 静力学分析; 拓扑优化理论

## ABSTRACT

With the passage of time, the rise of various emerging industries and the innovation of various technologies, the UAV industry has also ushered in a new world. However, most of the research on UAV is biased towards system control and wing structure design, and there are not many designs on UAV fuselage structure. At present, the conventional use of fixed wing UAVs in China is to carry various equipment for various scene applications, such as carrying a micro single camera for scene survey, carrying pesticides for pesticide spraying, etc. However, carrying these airborne equipment requires the UAV's load-bearing capacity and endurance capacity, which are very demanding. Therefore, it is of great significance to study the structural strength, bearing capacity of fixed wing and the lightweight design of UAV. At present, some domestic private enterprises are refitting and manufacturing small UAVs on the basis of the original aircraft model. Due to the weak technical force and simple manufacturing process, there is a large gap between the performance and reliability of aircraft model products and professional UAVs, which can not meet the performance requirements of professional users for UAVs.

Therefore, this paper mainly studies the structure of the small fixed wing UAV and the design of the connection between the fuselage and the wing, and uses the topology optimization function of SolidWorks software to improve the lightweight of the UAV fuselage structural parts. First, the initial structure of the small fixed wing UAV is designed, and the structural strength is verified by the actual working conditions, and the static analysis of the structural parts in the fixed wing model is carried out. At the same time, the static analysis of the optimized structure is carried out to verify that the structural strength of the small fixed wing UAV meets the requirements.

**Keywords:** small fixed-wing drone; static analysis; topology optimization theory

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....              | 1  |
| 1.1 选题的背景和意义 .....        | 1  |
| 1.2 固定翼无人机国内外发展状况 .....   | 2  |
| 1.3 本文研究目的和内容 .....       | 5  |
| 第二章 机身总体方案设计 .....        | 6  |
| 2.1 机身设计技术要求 .....        | 6  |
| 2.1.1 设计参数指标 .....        | 6  |
| 2.2 机身结构分析 .....          | 6  |
| 2.3 机身受力形式及力的传递 .....     | 9  |
| 2.4 无人机上主要电子元件的选类 .....   | 9  |
| 2.5 本章小结 .....            | 12 |
| 第三章 初始模型设计及结构强度分析 .....   | 13 |
| 3.1 Solidworks 软件介绍 ..... | 13 |
| 3.2 初始模型基础参数设计 .....      | 13 |
| 3.3 机身内部结构件强度分析 .....     | 15 |
| 3.4 机翼与机身连接形式分析 .....     | 17 |
| 3.5 机身与机翼连接处强度分析 .....    | 19 |
| 3.6 机身强度分析 .....          | 20 |
| 3.7 无人机重心计算 .....         | 20 |
| 第四章 拓扑优化及强度分析 .....       | 22 |
| 4.1 拓扑优化原理和优点 .....       | 22 |
| 4.2 优化过程与得到的优化方案 .....    | 22 |
| 4.3 模型优化 .....            | 23 |
| 4.4 优化后模型结构强度分析总结 .....   | 24 |
| 结束语 .....                 | 26 |
| 致谢 .....                  | 27 |
| 参考文献 .....                | 28 |

## 第一章 绪论

### 1.1 选题的背景和意义

固定翼无人机是指动力装置产生的向前的推力或者是拉力，由飞机的固定机翼产生的升力，在大气中飞行的重于空气的航天器。对于常规来说固定翼无人机是由五个十分重要的系统相互组合成的分别：航电系统、机体结构、地面控制站、动力系统和起降系统。然而固定翼无人机的飞机结构，可以将固定翼无人机分成不同的类型。同时不同类型的固定翼无人机其优点和缺点各不相同。伴随着技术的不断更新和发展固定翼无人机的应用已经十分的广泛，在军用、民用和工业等等方面都有涉及，对于在军用上面来说固定翼无人机主要的作用是靶机、通话、侦察、战术支援同时也可以进行战术打击等等；对于在民用上面来说固定翼无人机的主要作用是边界巡逻、治安监控、森林防火、气象监测等等；对于在工业上面来说固定翼无人机的主要作用是航测作业、电力巡线、生化污染区采样监测等等；这个时代又称为智能时代，世界各国都非常的重视人工智能，而无人机这样重要的领域也即将迎来一个属于它的新时代，我相信在未来无人驾驶飞机的应用领域将会进一步的扩大，无人机的使用也将更加普及。

固定翼无人机是无人机系统内三大飞行平台之一，在不同的环境下使用可以有不同的结构形式，常规的固定翼无人机主要是由机翼、机身、发动机、尾翼和起落架组成。常见的固定翼机身类型就有三大类，其一是硬壳式，其二，构架式，其三是半硬壳式的，当中半硬壳式机身还分成桁梁式机身与桁条式机身。硬壳式机身：对于这种机身来说结构简单、气动外形符合流线型的特点且内部可利用的空间大，但是对于机身来说承载的相对的载荷是比较小的，假如机身中间要是大开的口，就会让蒙皮的材料利用率变得不高，并且还会使得开口补强增重变得比较大，所以说基本上用这种隔框的无人机机身很少。构架式：就这样的机身来说机身强度和抗冲击性能都是比较好的，但是无人机机身刚度不是很好，并且它的抗扭性比较差，有效容积还比较小。桁梁式：是结合了桁梁式的受力特点，如果在隔框与桁梁中间开大口，并不会很大程度上影响和降低机身的抗弯强度与刚度。虽然开口会减少无人机的结构强度与刚性，但是由桁条式和硬壳式引起的机身补强引起的重量增加是比较少的。桁条式：主要是由隔框、蒙皮和桁条组成，它的抗压稳定性好但是没有可以承大力的大梁所以不易开口，要是开大口就必须加强专门的部件。

在科技不断进步的今天，固定翼无人机的研究也在不断的发展，同时取得了不小的进步，但依旧还有着一些难以解决的问题。固定翼无人机是靠螺旋桨或者

涡轮发动机来提供推力使飞机向前飞,然而飞机的升力是靠机翼与空气的相对的运动来提供的,因此固定翼飞机有着飞得快,航线长,运载大的特点。着其中飞行速度快就很考验飞机机身与机翼连接处的结构强度,而运载能力就要求飞机本身总重量轻的同时可以负载更多的东西。

固定翼无人机是通过螺旋桨或者是涡轮发动机来提供水平推力,以机翼与空气的相对运动流速来提供向上的升力,具有续航时间长,飞行效率高,载荷大的优点,但是固定翼无人机在起飞的时候是要有助跑的,在降落的时候也是必须要有滑行的,这也算是固定翼无人机的一个小小弊端。就是因为这个大多数研究都是更加偏向对于固定翼无人机的垂直起降,缺少了对机身整体结构轻量化的优化和对飞机机身与机翼连接的处的设计。所以本文主要是对固定翼无人机的整体结构进行轻量化的优化和对固定翼无人机机身与机翼的连接处进行设计,并在最后保证飞机整体的结构强度,使得固定翼无人机机身整体重量更加的轻。

本文主要是以对固定翼无人机机身整体轻量化来降低飞机自身总量以进而达到进一步提升续航和载重能力,同时设计飞机机身与机翼连接的处,使得固定翼无人机的整体强度更加坚固。就目前而言飞机的研究都注重于垂直起降了,对飞机的整体优化还是比较欠缺,所以对固定翼无人机机身的整体优化还是很有研究意义和实用价值的。

## 1.2 固定翼无人机国内外发展状况

### (1) 国外现状

在固定翼无人机领域,很多的国家和所在国家的大学都有其相关的研究项目,其中包括固定翼无人机的实际应用与性能优化。

美国是世界军事强国, Dragon Eye 无人机就是美国研发的一个十分优秀的固定翼无人机,它也可以称为龙眼,它是美国航空环境公司专门为美国海军陆战队研制开发的采用了 GPS 和惯性导航两大导航,且能够进行实时的红外成像和高分辨率的彩色进行远距离传输,传输半径可达到 5km。



图 1-1 龙眼无人机

国外的一些小道消息，加拿大的一所大学研发了一个叫“SUWAVE”的固定翼无人机，它可以在水面上以独特的方式进行起飞和降落，而且还可以漂浮在水上吸收太阳能以此来为自己充电的电量，实现了“跳跃湖泊”式远距离飞行。

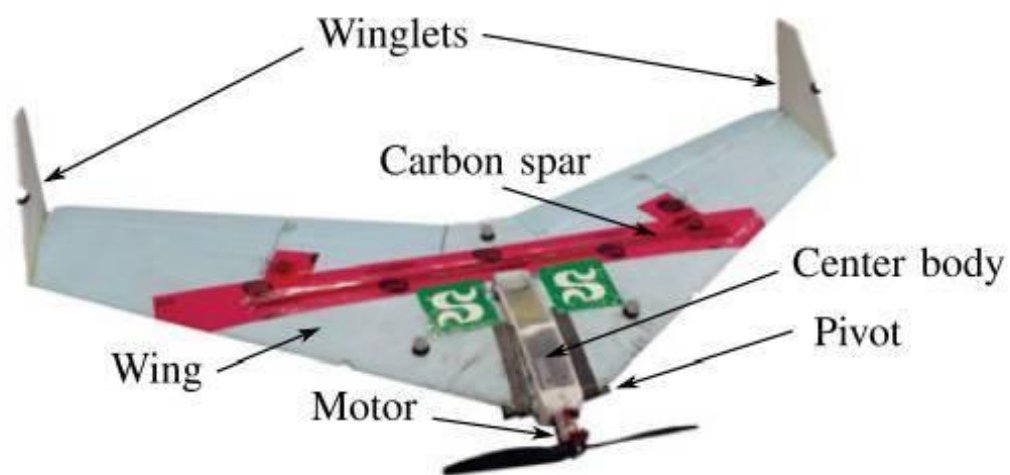


图 1-2 SUWAVE 固定翼无人机

在固定翼无人机领域，瑞士公司也推行了一款固定翼农业无人机“eEee”，可以对多次飞行同一航线的农民，以建立图像来帮助他们农作物进行判断。



图 1-3 eEee

## (2) 国内现状

我国的固定翼无人机在军用，民用科研领域都比较成熟，在信息高度发达的现代社会，无人化作业是未来发展的趋势，无人机的使用无疑也是未来的中流砥柱。就目前来说，我国民用的无人机生产是在不断的壮大，初步估计大概有 150 多家，已经生产了大概有 1.5 万多架无人机。在这么多无人机中，优秀的固定翼不比多旋翼无人机少，例如天津汇星海科旗下的大白鲨巡检测绘无人机可经行航测，绘图，摄影，巡检等诸多功能。



图 1-4 大白鲨巡检测绘无人机

在国家层面，我国也是大力支持高尖端无人机产业的发展并且确立了未来发展方向，给予营造良好的发展环境，近几年，我国的相关部门，发布了一系列的

指导意见和行动方案,明确了我国无人机行业在国家战略性高科技产业中的定位,并明确提出了一些对民用无人机产量增速和企业技术实力的要求。固定翼无人机的应用场景正在不断的向外扩展,利用固定翼无人机长航时,低成本,可靠性强,载重大等一系列优点填补传统的有人航天器应用的场景空白。我国民用固定翼无人机现在面临了诸多的挑战,其一现阶段市场的需求在不断的扩大,然而产品技术迭代的需求却达不到市场的要求。其二,大型的固定翼无人机的成熟运营模式仍需要不断的完善。

目前,我国诸多大学也早就在开始着手与固定翼无人机的研究之中了,例如南京航空航天大学,北京航空航天大学,天津中德应用技术大学等等。同时在市场上也有诸多公司在开始研发各种固定翼无人机,例如大疆创新,亿航,中科遥感,极飞科技等等。另外,我国在中小型(300 公斤以内)的固定翼无人机在世界也属于领先状态。

### 1.3 本文研究目的和内容

本文主要是研究设计一款小型固定翼无人机机身结构,并对无人机机身模块进行轻量化优化,优化后使它的承载能力更加强悍,同时强化机身与机翼连接处使机身与机翼连接处的抗应力能力更好。

为了实现对无人机的优化,首先设计建模出一个固定翼无人机的机身初始构型,在确定固定翼无人机的材料、相关数据参数等,之后对与基础飞机体结构模型进行静力学分析确定各项参数,之后利用拓扑优化对固定翼无人机的机身进行轻量化优化,并对优化后的机身模型进行静力学分析,检验优化之后的模型结构的强度。

## 第二章 机身总体方案设计

### 2.1 机身设计技术要求

机身设计的技术要求与飞机设计的技术要求基本相同，都是要求最小重量，另外飞机的设计技术要求应该还要满足以下条件。

- (1) 选择合适的飞机外形，使其阻力最小，有效面积最大。
- (2) 机身的有效载重布局要紧凑，使其载重物尽量靠近重心附近，改善飞机的机动特性，保证飞机具有更好的稳定性和操控性。
- (3) 机身受力的形式要和与之相连的部件的结构受力形式进行协调，必须保证连接的可靠性，将其他受力载荷传递到机身承力构件上。
- (4) 保证能够方便的对机身内部的物件进行更换。

#### 2.1.1 设计参数指标

本项目设计下基本设计参数如下：

- 飞机翼展为：2m。
- 巡航速度为：70-80km/h。
- 平飞下最大飞行速度为：120km/h。
- 失速临界速度为：40km/h。
- 起飞最大重量为：10kg。

### 2.2 机身结构分析

机身的结构形式主要分为构架式机身，硬壳式机身和半硬壳式机身。常见的固定翼机身类型就有三大类，其一是硬壳式，其二，构架式，其三是半硬壳式的，其中半硬壳式中又分为桁梁式机身和桁条式机身。

硬壳式机身：对于这种机身来说结构简单、气动外形符合流线型的特点且内部可利用的空间大，但机身的相对载荷较小，如果机身要大开口的话会让蒙皮材料利用率不高，且会开口补强增重较大，所以基本用这种隔框的机身很少。

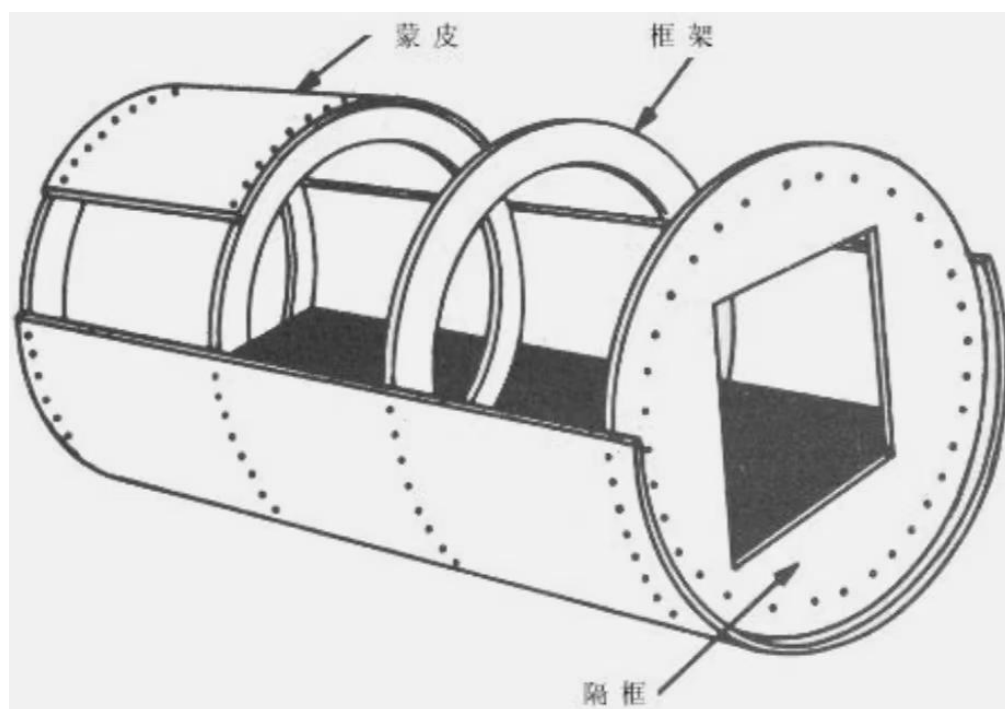


图 2-1 硬壳式机身

构架式：这样的机身强度和抗冲击性能较好但是刚度不好，且抗扭性差有效容积还小。

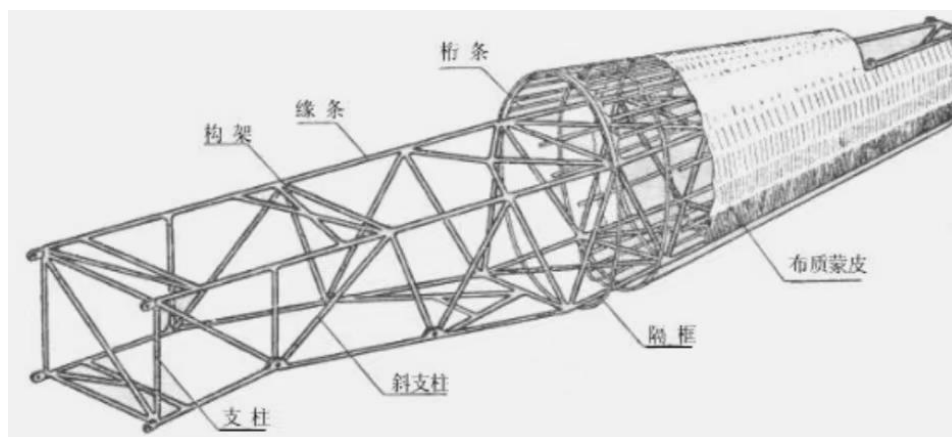


图 2-2 构架式机身

半硬壳式：1.桁梁式：结合桁梁式的受力特点，在隔框和桁梁之间开大口不会很大程度上降低机身的抗弯强度和刚度。虽然开口会减少结构的强度和刚性，但由于桁条式和硬壳式来说这样引起的机身补强引起的重量增加较少。

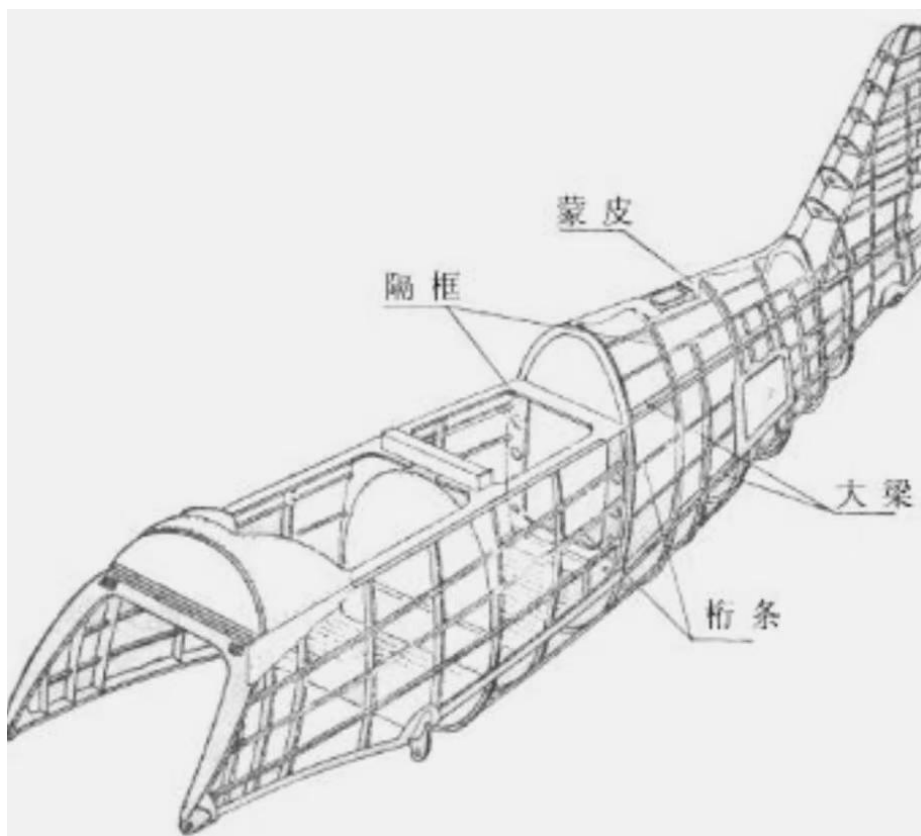


图 2-3 桁梁式机身

2.桁条式：主要是由桁条、蒙皮、和隔框组成，它的抗压稳定性好但是没有可以承大力的大梁所以不易开口，要是开大口就必须加强专门的部件。

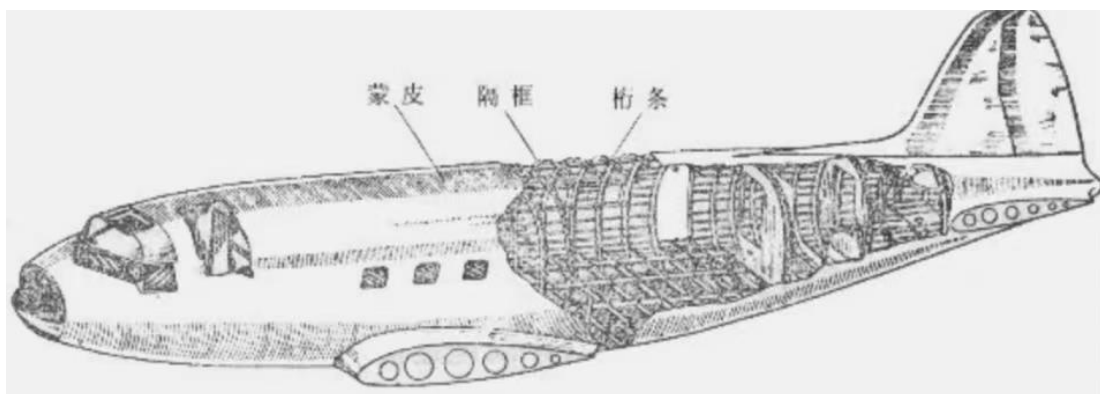


图 2-4 桁条式机身

本章采用的是半硬壳机身中的桁条式机身，随着载荷的增大(主要是弯矩增大)，机翼的结构受力型式就由梁式改成了整体式。机体也是由桁条、隔框和蒙皮组成。飞机各零件之间采用铆接的方式进行连接。前机身和后机身是均匀收敛型，轴对称形式的机身符合最小阻力要求。

### 2.3 机身受力形式及力的传递

本章选用的是传统的桁条式机身结构，桁条式机身的特点是长条比较密，比较强，蒙皮的度比较厚，机身的主要受力形式是因弯曲而引起的轴向力，是由很多桁条还有较厚的蒙皮一起组成的壁板来承受的；剪力主要还是由蒙皮来承受。固定翼无人机的重力主要是由机翼上表面与下表面的压力差而形成的上升力抵消的，由于机翼所承受的力，通过剪力和弯矩的形式传递到机身侧翼的壁板上，机翼的剪力，弯矩还有扭矩在飞机的翼根上会慢慢积累，直到最大，最后通过机翼和机身的连接处转化为结构的拉力，剪力还有压力，并且传递到机身上面去。剪力：机翼上的剪力通过机翼和机身的连接处传递给机身蒙皮。扭矩：机翼的扭矩主要通过机身与机翼连接处传递给机身侧边壁板和蒙皮以压力的形式出现。弯矩：固定翼无人机机翼的弯矩是通过机翼与机身连接处以压力的形式传递给机身侧边壁板和蒙皮。



图 2-5 机翼受力

### 2.4 无人机上主要电子元件的选类

整机质量的评估：为了设计的固定翼无人机，我们必须选用一种适合的动力推动装置，首先我们是要进行就是对最主要的飞机阻力评估，根据我们所设计的机翼结构和飞机的阻力公式：

$$X = C_x \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad (2.1)$$

(X:为飞机阻力,  $C_x$ : 为飞机阻力系数,  $\rho$ : 为空气密度, V: 为巡航速度, S: 为机翼面积) 飞机阻力系数: 0.0222, 空气密度:  $1.29 \text{ Kg/m}^3$ , 巡航速度:  $120 \text{ km/h}$ , 机翼面积:  $0.6 \text{ m}^2$ 。可知所设计的固定翼无人机, 最大阻力为 10N。

螺旋桨设计：根据螺旋桨的市面上流行的螺旋桨种类，我选用的是高强度的 10 寸螺旋桨，桨盘直径是  $D=333.3 \text{ mm}=0.333 \text{ m}$ ，其升力系数为  $C_F=0.09849$ , 扭矩系数为  $C_M=0.00681$ ，可知所设计的固定翼无人机，最大阻力为 10N，空气密度为  $1.29 \text{ Kg/m}^3$ 。

$$\Omega = 60 \sqrt{\frac{F}{C_F \rho D^4}} \quad (2.2)$$

$$M = C_M \rho \left( \frac{\Omega}{60} \right)^2 D^5 \quad (2.3)$$

由 2.2 公式：可知螺旋桨得转速为  $\Omega = 4801 \text{r/min}$ ，再由公式 2.3 可知，将数据代入计算可得  $M = 0.2303 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

电机选择：电机尺寸和性能都有不同，并决定飞机的动力，选择一个合适的电机，成为了一个很大的难题。传统的电机分为无刷和有刷电机，无刷电机对比传统的有刷电机，其具有更大的转速，更低的噪音，可靠性更强等一系列优点，在许多固定翼无人机上都使用的是无刷电机。本章所选用是新西达无刷电机 2217，KV2300。22 为电机转子的直径，17 是电机转子的高度。Kv 为 2300，每增加 1V 转速将增加 2300 转/分钟。根据有关数据可知，电动机空载的电流为  $I_{m0} = 0.5 \text{A}$ ，电动机的内阻近似为  $R_m = 0.101 \Omega$ ，由于 55% 的占空比电动机的有效电压可以由 2.4 公式：

$$U_m \approx \sigma U_b \quad (2.4)$$

可知，设电池电压 22.2V，可得等效电压  $U_m = 12.21 \text{V}$ ，根据所选的参数和上面所计算的螺旋桨参数代入公式 2.5、2.6、2.7、2.8：

$$K_E = \frac{1}{K_V} \quad (2.5)$$

$$K_M = \frac{30}{\Pi} K_E \quad (2.6)$$

$$I_M = \frac{M}{K_M} + I_{M0} \quad (2.7)$$

$$U_M = K_E \Omega + R_m I_m \quad (2.8)$$

联立可得  $K_E = 0.00231326$ ， $K_V = 473$ ， $I_M = 10.43 \text{A}$ ， $K_M = 0.02209$ 。所计算出的电机 kv 值是 473，等效的电流为 10A，根据市场的电动机比较，可以选择 kv 值为 500 的电机，如图 2-6，翼酷电机重量 280g，长宽 49.5×45.2mm。



图 2-6 电机

电池选择：现在大部分市场上固定无人机所使用的电池基本上都为锂电池，锂电池具有重量轻但是动力比较强的重特点，所选电动机允许的最大电流为 40A， $R_b=0.01\ \Omega$  的电调，固定翼无人机的电流消耗为  $I_{other}=1A$ ，

$$I_e = \sigma I_m \quad (2.9)$$

$$U_{e0} = U_m + I_m R_e \quad (2.10)$$

$$\sigma = \frac{U_{e0}}{U_E} \approx \frac{U_{e0}}{U_b} \quad (2.11)$$

$$I_b = n4I_e + I_{other} \quad (2.12)$$

$$U_e = U_b - I_b R_b \quad (2.13)$$

$$t_b = \frac{C_b - C_{\min}}{I_b} \times \frac{60}{100} \quad (2.14)$$

通过上述 2.4、2.9、2.10、2.11、2.12、2.13、2.14 公式可得  $I_e=5.7365A$ ， $U_{e0}=7.72$ ， $U_{e0}=7.72$ ， $I_b=12.473A$ ，所以我們所选用的电池容量为 6496mA·h，根据市面上我们选择选择 6500mA·h，重量 696g。长宽高 141×44×52mm。



图 2-7 电池

电调选择：单独的电机是不能够正常工作的，它必须要和垫条相互配合，才能够正常的使用，电调的作用是用来控制电机的速度，不同负载的电力系统是需要用不同的电调相互匹配的。我所选用的电调是好赢乐天 40A 电调支持 2-6S，重 26g，长宽高 68×25×8.7mm。



图 2-8 电调

## 2.5 本章小结

通过对飞机机身的了解本论文设计的无人机并不需要开大口，同时采用桁条式机身的话可以很好的改善机身的空气动力性能，所以采用了半硬壳式机身中的桁条式机身，并采用了轴对称形式的机身符合阻力要求最小。设计了固定翼无人机的相关尺寸，还分析了机身的受力和力的传递方式，同时在网上查找相关资料，并且通过数字计算确定了飞机相关主要电子元件的选型，

## 第三章 初始模型设计及结构强度分析

### 3.1 Solidworks 软件介绍

Solidworks 是达索系统旗下最有名的软件之一。Solidworks 是第一个基于 Windows 开发的三维设计软件，拥有着诸多功能，每一个功能都有着自己独特的用法。它所使用的应用领域也是十分的广泛，在汽车、航天、船舶等等都有它的身影。之所以它如此受用户的喜爱这可能与它简便的界面和高度自动化分不开。Solidworks 中主要有模型设计，静力学分析，运动仿真工程图模块，草图绘制等功能，在本文就应用到 Solidworks 的草图绘制、运动仿真和静力学分析。

Solidworks 有着全面的实体建模功能，可以很好的配合设计者设计，在使用方面也是得到了世界公认的简洁，删了很多没用的对话框，并且改用了右键的隐藏菜单，使得在一些比较复杂或者是特殊的命令或者是操作时会更加的方便。在 Solidworks 中最基础的就是草图绘制了，几乎所有的模型都是基于草图，可以说草图的功能直接影响了后续的建模和分析。在新版本的 Solidworks 中还加装了智能装配功能和 RapidDraft（快速制图功能），智能装配功能：可以在装配的过程中自己捕捉装配关系，并完成装配。RapidDraft（快速制图功能）：快速的将自己建立的 3 维模型转化为 2 维平面的工程图，实现了 3 维向 2 维的转换。

Solidworks 在完成自己的建模后通过设置键码点，确定了装配体的运动方位来进行有效的运动仿真，并且可以进行更加直观的看见模型的运动状态与装配的零部件，在最后还可以生成 mp4 视频文件。

在完成建模后最重要的就是要对模型进行最后的静应力分析，以检验自己的模型是否合格，Solidworks 在静应力分析领域也有自己的优势，其操作步骤也是十分的简单，基本可以分为 7 个步骤，1.指定材料生成算例，2.固定约束和压力载荷，3.生成网格，4.运行算例，5.查看静态分析结果，6.评估设计的合理性和安全性，7.生成报告。

### 3.2 初始模型基础参数设计

材料选择：为了达到轻量化的设计要求，本论文的固定翼无人机主体是采用轻木材料经行设计的，在应力比较集中的部分采用更换强度更高，密度更小的碳纤维复合材料，以达到确保机身的安全性能。同时，碳纤维复合材料我们选用的是市面上最常用的航模材料:T-300 碳纤维。

无人机机身主体采用轻木材料，轻木材料相关参数如下：

表 3-1 轻木材料参数

| 属性 | 弹性模量           | 泊松比  | 抗剪模量           | 质量密度            | 屈服强度           |
|----|----------------|------|----------------|-----------------|----------------|
| 数值 | 2999999232     | 0.29 | 299999910.5    | 159.99          | 19999972       |
| 单位 | $\text{N/m}^2$ |      | $\text{N/m}^2$ | $\text{kg/m}^3$ | $\text{N/m}^2$ |

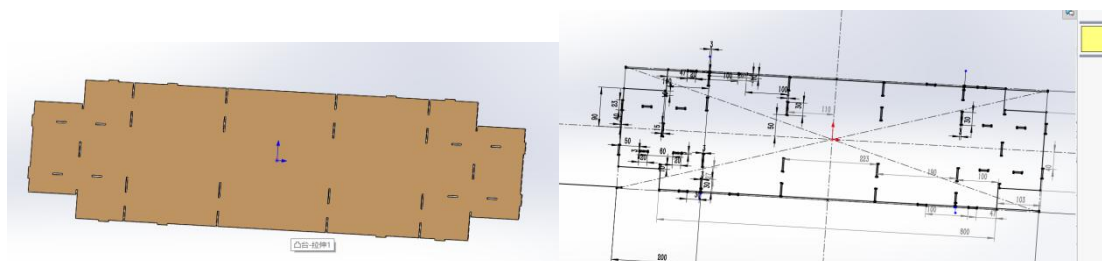


图 3-1 飞机地板

首先利用 solidworks 软件，对固定翼无人机底板进行设计，在设计一系列尺寸后进行拉伸，设计完尺寸后，底板的长度为 1000 毫米，宽度为 28 毫米，拉伸厚度为 3 毫米。并且留出一定的凹槽和突出，为了方便连接固定翼无人机的隔框和侧身壁板如图 3-1。

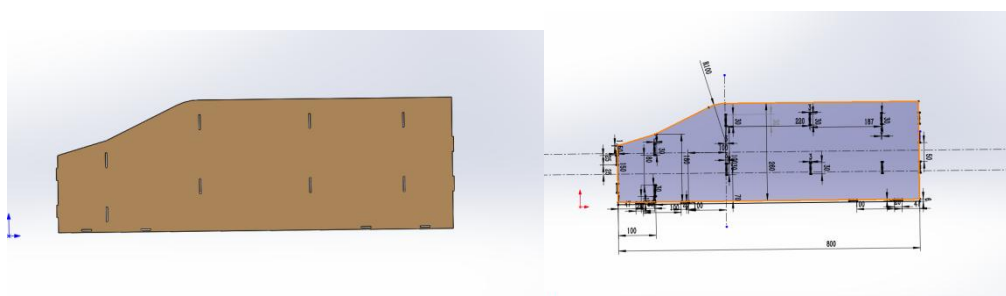


图 3-2 飞机侧身壁板

初步画出固定翼无人机的侧身壁板如图 3-2，长度和高度 800×260 毫米，拉伸厚度为 3 毫米。并且留出一定的凹槽和突出，为了方便连接固定翼无人机的隔框和侧身壁板。后续还需进行修改，在其中画出机翼模型曲线，方便安装机翼与机身连接处的装置。

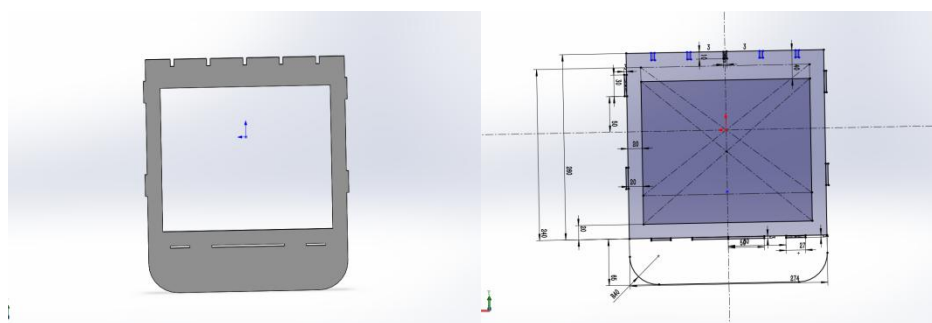


图 3-3 飞机隔框

固定翼无人机隔框，采用的是轻木材料制成，其高度和宽度为  $260 \times 280$ ，拉伸厚度为 3 毫米如图 3-3。同样留出一定的凹槽和突出，为了方便连接固定翼无人机的桁条、侧身壁板、地板。

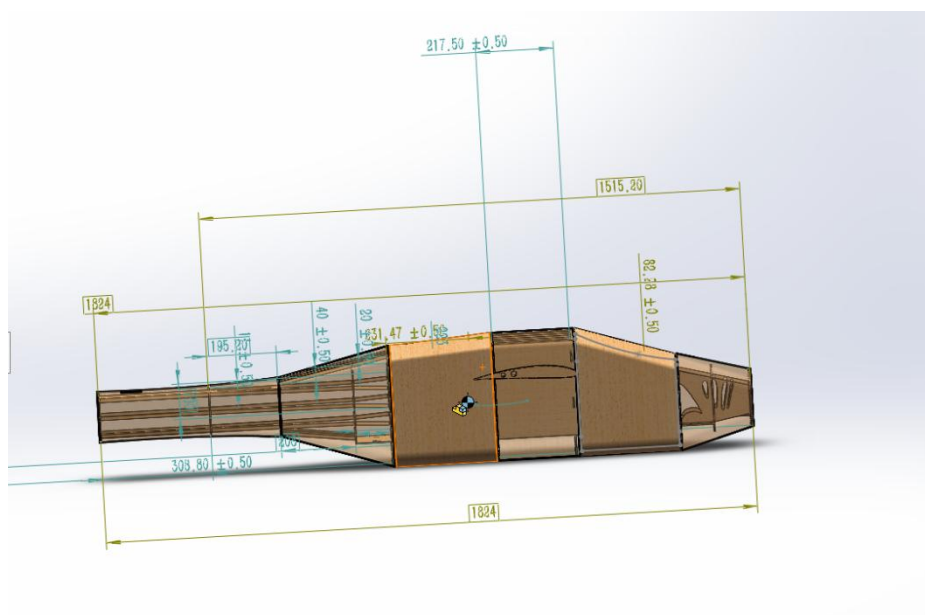


图 3-4 整体飞机参数

固定翼无人机机翼设计为 2m，机身整体宽度为 28cm，纵向总长度为 2280cm，机身跟机翼的比例一般为百分之 70 到 80%，选取 80% 及 1824cm 如图 3-4。横向总长度为 1824cm。机身总重 3.242kg，预计固定翼无人机最大起飞质量为 10kg。

### 3.3 机身内部结构件强度分析

预计的固定翼无人机内部结构是采用轻木材料制成，通过 solidworks 软件进行模拟，轻木材料下隔框的集中静应力：

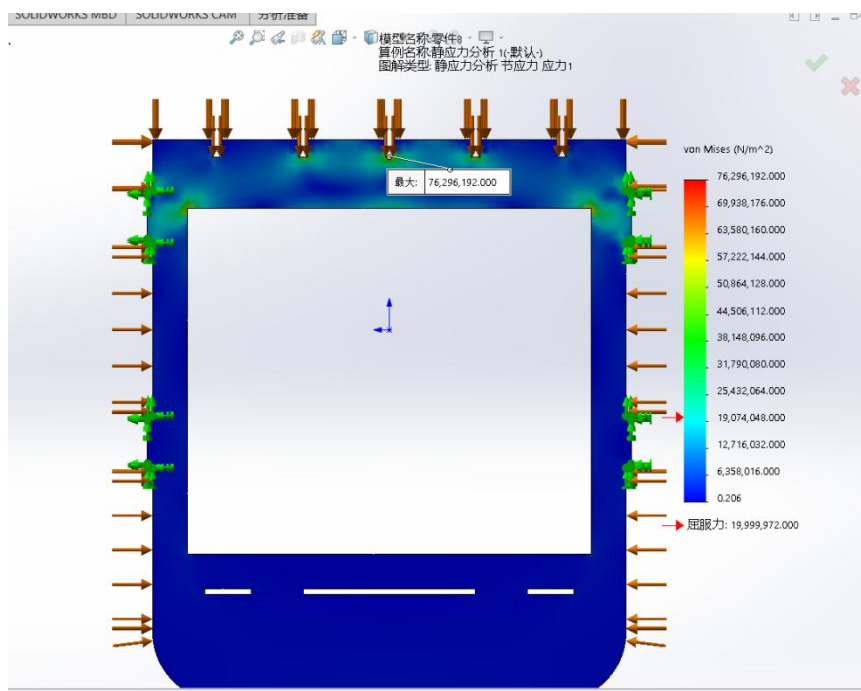


图 3-5 轻木隔框静应力分析

如图 3-5 所示，轻木材料下隔框最大的应力为最大应力为 76296192，而轻木的屈服力为 19999972，明显无法承载如此大的应力，为了使隔框可以承载如此大的应力，将进行选取新的材料，在选取新的材料的同时，为了达到飞机的轻量化设计要求，排除了铝的一些金属材料，采用了质量更轻，强度更大的新型碳纤维复合材料 T-300 3K/934 其相关性能参数如下：

表 3-2 碳纤维复合材料 T-300 3K/934

| 弹性模量<br>/GPa | 拉伸强度<br>/MPa | 压缩强度<br>/MPa | 剪切模量<br>/GPa | 剪切强度<br>/MPa | 泊松比  | 密度/ $g \cdot cm^{-3}$ |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|-----------------------|
| 62.4         | 607          | 621          | 3.4          | 82.8         | 0.33 | 1.43                  |

将轻木材料更改为新型碳纤维复合材料后，再次利用 solidworks 软件进行模拟新型碳纤维复合材料下隔框的集中静应力：

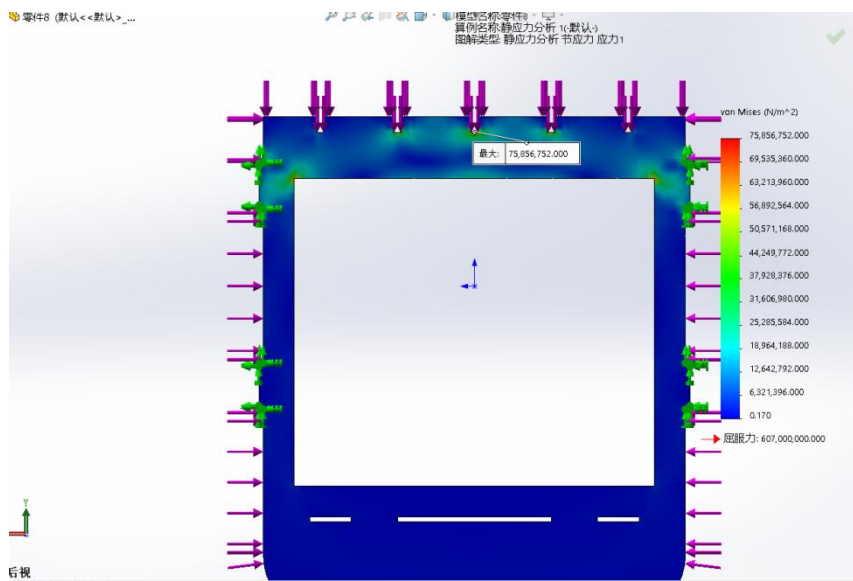


图 3-6 碳纤维加强框

如图 3-6 所示，新型碳纤维复合材料下的隔框最大应力为 76296192，而屈服力为 607000000 明显大于最大应力，所改用的新型碳纤维复合材料符合上述要求。

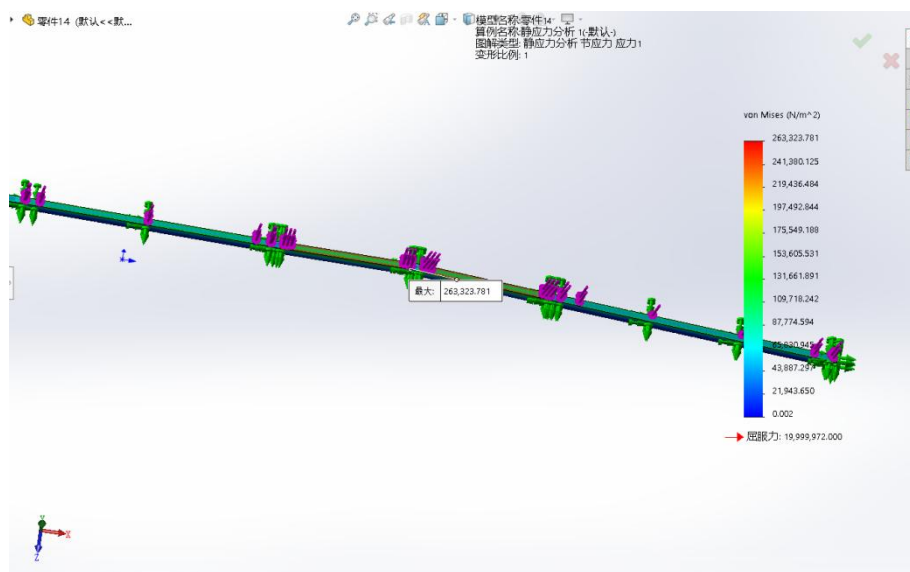


图 3-7 桁条

图 3-7 是利用 solidworks 软件对轻木材料下的桁条进行的静应力分析结果图，从图中我们可以看出相同情况下轻木的桁条最大应力为 263323.781，而屈服力为 19999972 这要明显大于最大应力，因此在轻量化和经济等诸多因素条件下，我们并不需要更改桁条的材料。

### 3.4 机翼与机身连接形式分析

目前现有的无人机机身和机翼的连接处通常都是有两种方式：第一种就是用螺丝固定如图 3-8，这种固定的方式结构相对于来说简单，但是，对航模机身和

机翼连接处的尺寸要求比较大,但是它的刚度很好,但如果无人机的尺寸比较小,则会影响其结构的稳定性,并增加重量,增加成本。

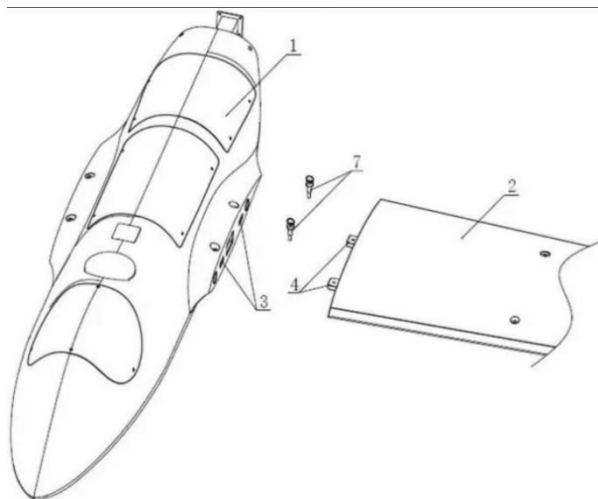


图 3-8 螺丝固定

第二种是插接棒连接法如图 3-9, 这种安装方法比较适合机身结构适中的无人机,但这种结构会影响无人机的强度和刚性,原因是因为插入连接棒,可能会导致上下机翼的厚度变成原机翼厚度的一半。

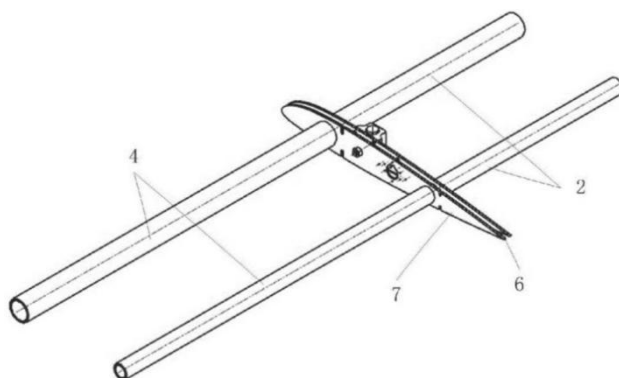


图 3-9 插接棒连接法

本论文采用的是铆接加螺栓固定的方式如图 3-10。机翼凸出一部分插入连接槽,这样不会因为插入机翼,而是机翼的厚度变薄,并且还使用螺栓可以更加有效的增加连接处的刚性与强度。机翼与机身是通过一个特殊的装置进行连接的,该装置上面拥有三个孔,对应机翼拥有三个突出的地方,进行铆接插入,其中矩形的内侧各有两个直径为 5 毫米的螺孔进行固定,使其机翼和特殊部件进行连接,而特殊部件是由两个类似机翼的凹槽铆接在蒙皮和固定翼侧边的壁板上。

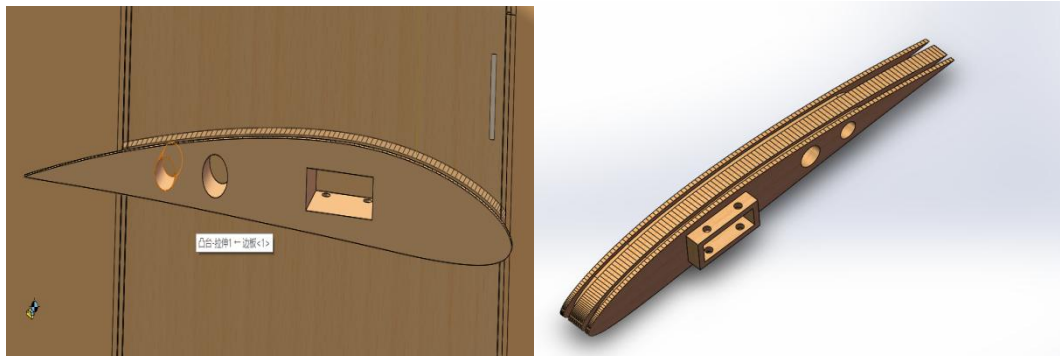


图 3-10 机翼与机身连接处

### 3.5 机身与机翼连接处强度分析

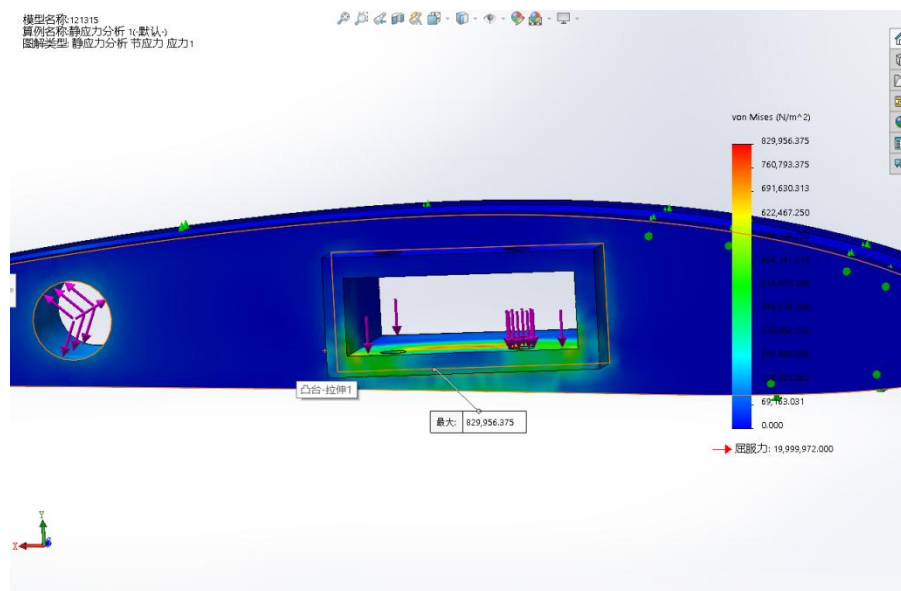


图 3-11 轻木连接处

利用 solidworks 软件对轻木材料下机翼与机身连接处的特殊结构进行静应力分析得到图 3-11 的结果，由图可以看出，材料所受的最大应力为 82956.375，而材料的最大屈服力为 19999972，材料所受的最大应力明显低于材料的最大应力。

### 3.6 机身强度分析

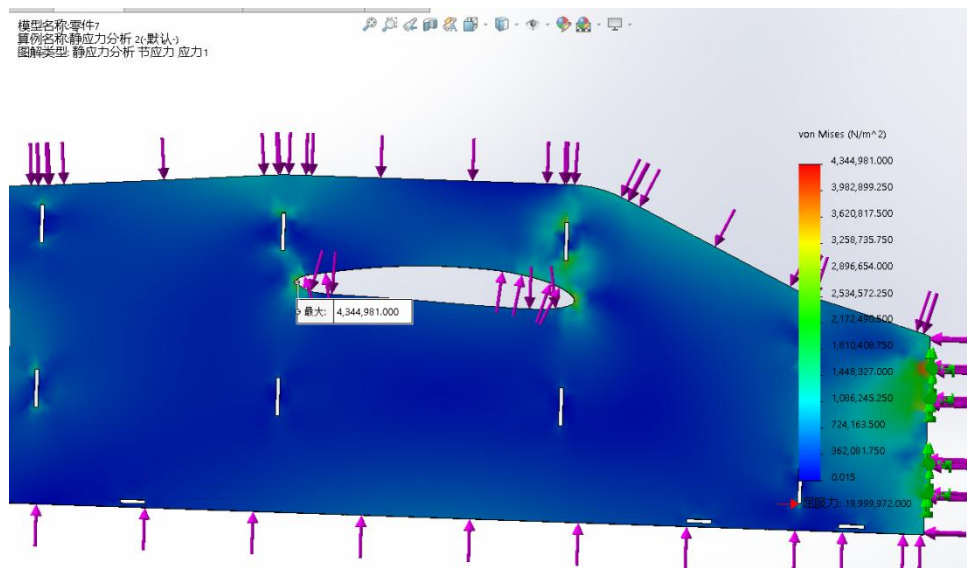


图 3-12 轻木机身

利用 solidworks 软件对轻木材料下的固定翼无人机侧面主体机身进行静应力分析。图 3-12 是轻木侧边机身的静应力分析结果图，如图所示，我们可以清楚的知道，轻木材料下的固定翼无人机侧面主体机身结构最大的应力为 4344981，而轻木的屈服力为 19999972，从数据上可以看出，侧面机身最大的应力在轻木的屈服力范围之内，其结构的安全性可以得到保障。

### 3.7 无人机重心计算

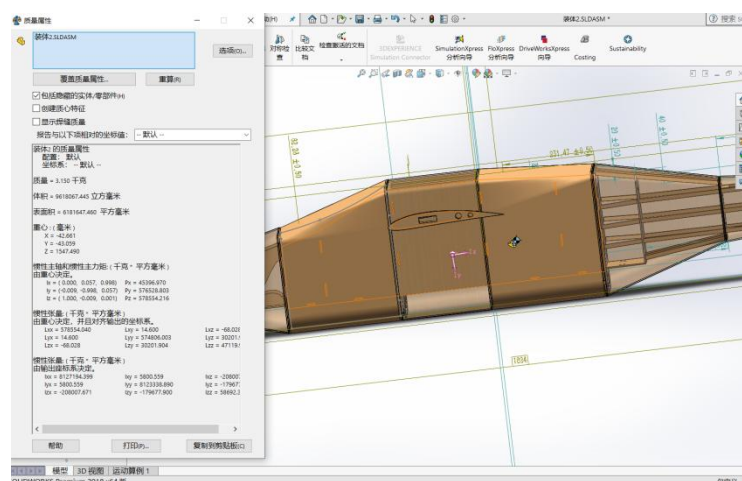


图 3-13 飞机重心

固定翼无人机的重心位置一般位于无人机机翼弦长的三分之一处,之后利用 solidworks 软件中的重心模拟计算可得出,无人机的重心位于机翼弦长三分之一处如图 3-13。

## 第四章 拓扑优化及强度分析

### 4.1 拓扑优化原理和优点

拓扑优化是一个根据给定的负载情况和约束条件还有性能指标，在确定的地方里对材料进行一些优化的数学方法。拓扑优化设计的三要素即为设计变量、约束条件还有目标函数。拓扑优化的研究领域可分为连续拓扑优化和离散结构拓扑优化。然而，任何领域都依赖于有限元方法。连续拓扑优化是在有限元（壳单元或体积单元）中，将材料分离到优化空间中，在设计空间中建立由有限元梁单元组成的基础结构离散拓扑优化。一般来说，在详细设计阶段，采用形状和尺寸优化，然而在概念设计的阶段来说，一般是采用拓步优化的方式。拓扑优化可以在满足设计之初的能量传递路径情况下既保证了整体结构性能的提高又减轻了机体的整体结构的重量，使其变得更加经济实用。

### 4.2 优化过程与得到的优化方案

为了使固定翼无人机更加轻量化，本文所采用了 solidworks 软件中的拓扑优化功能，利用拓扑优化功能，对设计固定翼无人机的相关零部件进行轻量化设计，以达到论文轻量化的最终目的。首先，我们要确定固定无人机优化的初始模型，使用 solidworks 软件对初始模型的区域进行优化设置，软件优化后黄色的区域部分为保留下的区域，然而深蓝色的区域为优化后除去的区域。

首先，我们对固定翼无人机机身主体架构进行拓扑优化，拓步优化的结果和初始模型的对比如下：

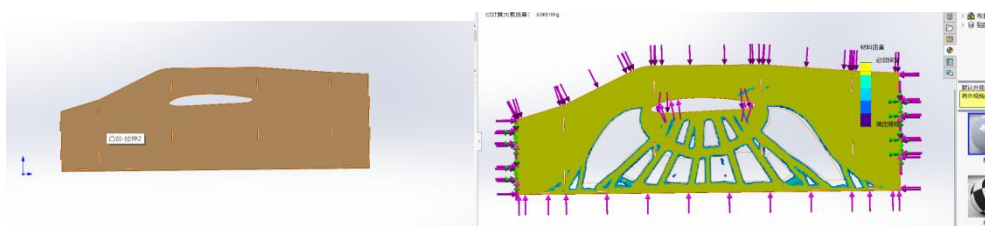


图 4-1 拓扑优化前后机身

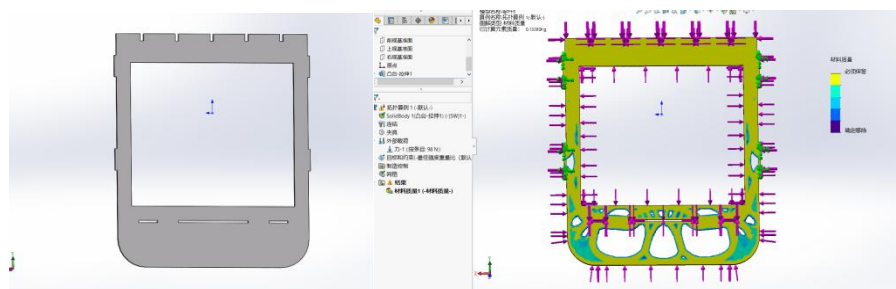


图 4-2 拓扑优化前后隔框

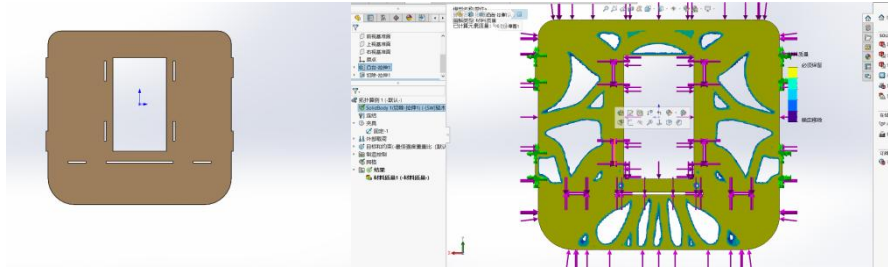


图 4-3 拓扑优化前后隔框

#### 4.3 模型优化

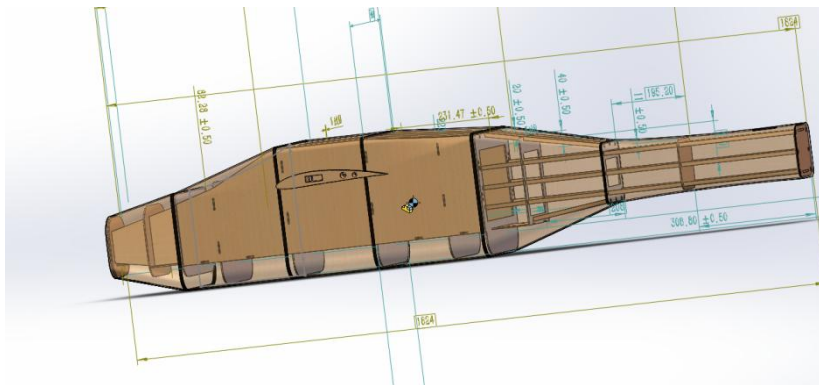


图 4-4 初始模型

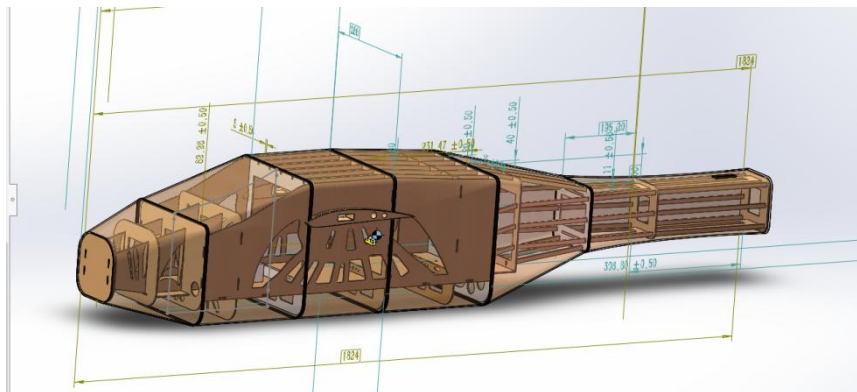


图 4-5 拓步优化后模型

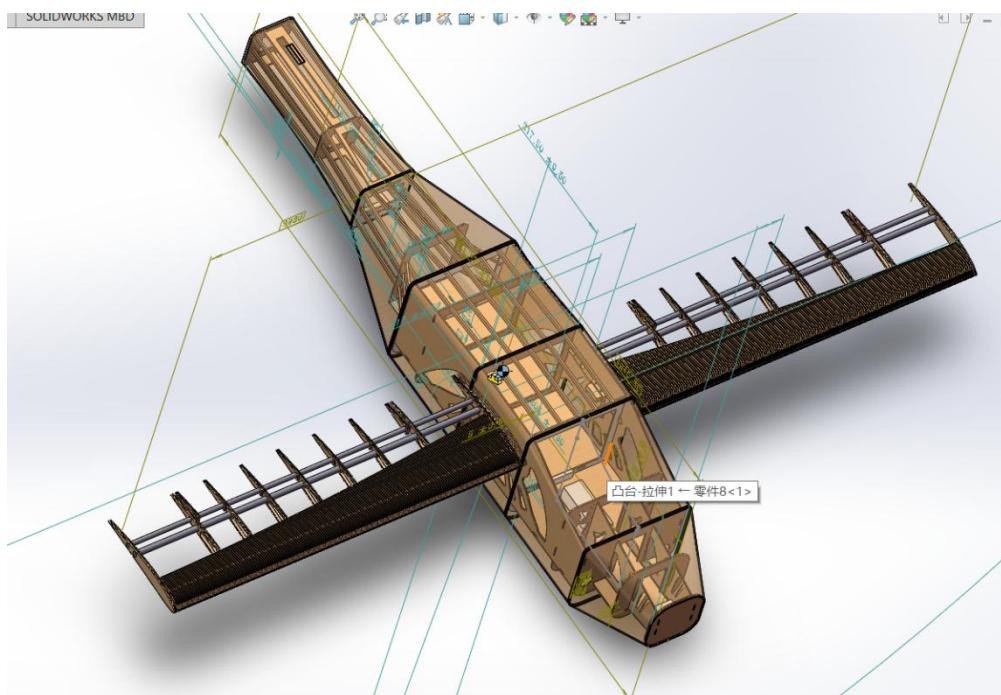


图 4-6 飞机整体模型

通过软件分析在不改变机身受力的情况下，整体机身重量从初始的 3.242kg 下降至 2.771kg，减重 0.471kg，减重百分比被 0.14%。

#### 4.4 优化后模型结构强度分析总结

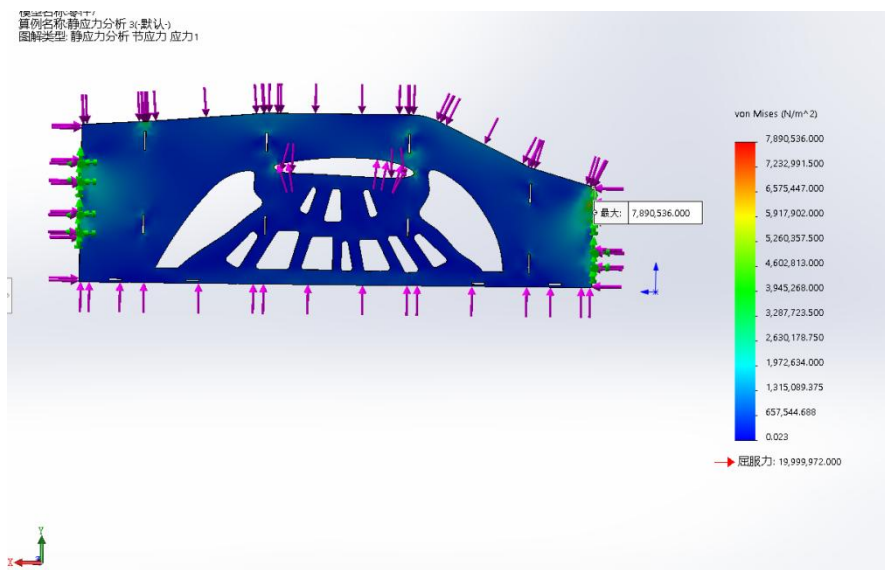


图 4-6 优化后静力分析

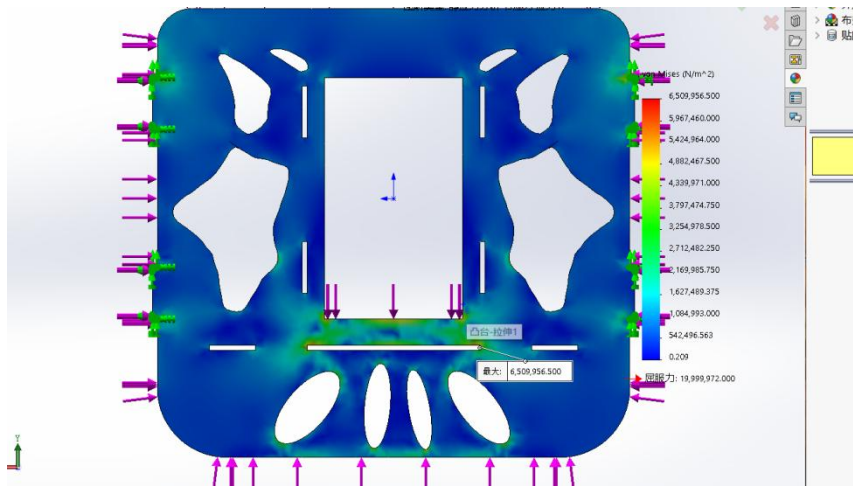


图 4-7 优化后静力分析

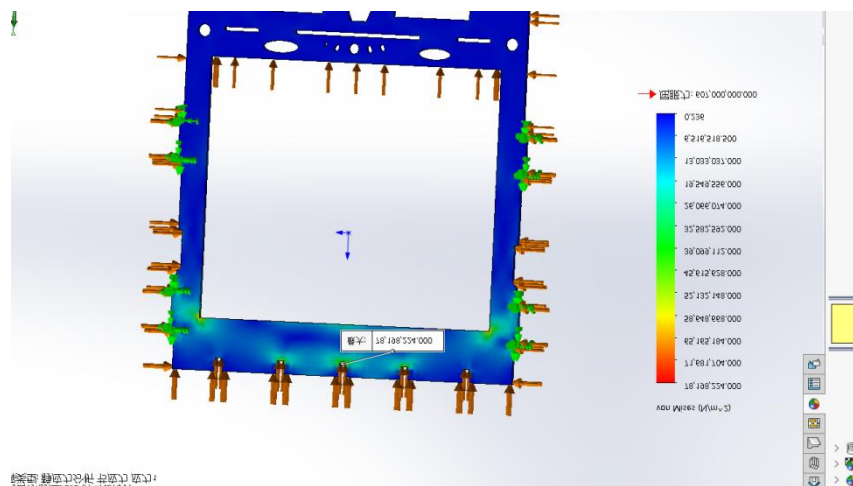


图 4-8 优化后静力分析

如表所示图 4-6、4-7、4-8，为该固定翼无人机优化后模型在静应力工况最大应力的数据，该固定翼无人机的优化后模型各项数据均满足要求。

表 4-1 优化后模型结构强度总结

| 序号 | 材料      | 材料最大应力(屈服应力 Pa) | 初始最大实际应力(屈服应力 Pa) | 优化后实际应力(屈服应力 Pa) |
|----|---------|-----------------|-------------------|------------------|
| 1  | 轻木      | 19 999 972      | 4 344 981         | 7 890 536        |
| 2  | 碳纤维复合材料 | 607 000 000     | 76 296 192        | 78 198 224       |

## 结束语

本文采用 SolidWorks 软件进行了拓扑优化最终结果数据可知，固定翼无人机的初始模型，整机的初始重量为 3.242 千克，通过拓扑优化的方式进行轻量化设计，设计后的固定翼无人机整体机身重量下降至 2.771 千克，减重了 0.471 千克，减重的百分比为 0.14%。为了满足设计的强度要求在隔框部分我采用了强度更大，质量更轻的碳纤维复合材料，为了满足设计强度的要求，隔框的部分采用的是强度更大，质量更轻的碳纤维材料，但是其各项数据仍然还是在允许的范围之内，所以满足设计的基本要求。

## 致谢

四年的时间在这毕业论文完成的那一时刻画上了句号。回头看，想起 18 年初来学校的满心欢喜到这一刻的恋恋不舍，我非常感谢这一路来帮助和陪伴的我人，因为你们让我的大学时光变得更加的精彩和有趣。

在此我首先要感谢的是我的论文导师张健老师，这个论文是在张健老师的悉心指导下完成的。张健老师在航空方面有着十分渊博的专业知识，教学也是非常严谨，在我写论文期间也主动友善的联系我，并亲切的询问我的相关进度，并在我困难的时候给予帮助。从论文的选题开始直到我的论文结束，张健导师为我灌注了很多心血，在此我对我的导师致以最高的敬意！

其次感谢各位学者的论文著作，他们的研究和发现为我的论文提供了很多帮助和启发，让我在写作过程中避免了很多问题和困惑。

最后感谢我的同学和朋友，在疫情无法回校时可以去图书馆帮我下载各种著作。鉴于我的知识能力有限，论文可能有所不足，还请各位老师批评指正！

## 参考文献

- [1]张月月. 轻型固定翼飞机机身结构优化及仿真分析[D]. 重庆理工大学, 2021.
- [2]刘峰, 代海亮, 王坤, 高鸿渐. 十公斤级固定翼无人机全碳纤维机翼设计与应力分析[J]. 宇航材料工艺, 2019, 49(04):50-55.
- [3]闫俊岭, 户振锋. 一种固定翼太阳能飞机设计[J]. 现代信息科技, 2019, 3(03):160-163+167.
- [4]胡聪聪, 何景武, 朱伟锋, 黄晓松. 某型无人机机身主承力结构的设计与分析[J]. 飞机设计, 2014, 34(03):4-7+15.
- [5]Brenda M. Kulfan and John E. Bussoletti, "fundamental" parametric geometry representations for aircraft component shapes[J]. AIAA 2006-6948.
- [6]Xingjun Gao, Yingxiong Li, Haitao Ma, Gongfa Chen. Improving the overall performance of continuum structures: A topology optimization model considering stiffness, strength and stability[J] Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2020 (1)
- [7]王旭. 某无人机结构静强度分析[D]. 南昌航空大学, 2013.
- [8]刘洋. AC500 飞机机身结构\座椅抗坠毁仿真分析[D]. 南京航空航天大学, 2009.
- [9]飞机设计手册+第 10 册+结构设计.
- [10]徐成斌, 路明村, 张卫明. solidThinking Inspire 优化设计基础与工程应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [11]牟俊鑫. 纤维增强复合材料结构的纤维布局与拓扑优化[D]. 华中科技大学, 2019.
- [12]方如金. 微小型无人侦察机总体结构气动特性分析[D]. 中北大学, 2014.
- [13]任毅如, 向锦武, 罗漳平, 郑建强. 飞行器机身结构耐撞性分析与设计[J]. 工程力学, 2013, 30(10):296-304.