

Research on Structural and Aesthetic Optimization of Drones for Forest Emergency Rescue Based on Relay Station Platform

Shilong Fan Qi Zhang *

Dalian Jiaotong University, Dalian, Liaoning, 116028, China

Abstract

In forest emergency rescue operations, drones serve as auxiliary rescue equipment^[1] that significantly enhance rescue efficiency through rapid disaster identification, emergency response deployment, dual functions of communication and rescue, and extended endurance capabilities. This study focuses on drones for forest emergency rescue based on relay station platforms, conducting comprehensive explorations in structural design, material selection, communication system construction, and exterior performance optimization. During the design process, cost-effectiveness and user requirements were fully considered to ensure the solution is both economical and practical while meeting public expectations. The research not only integrates advanced technologies such as infrared recognition, image transmission, and hybrid energy propulsion, but also optimizes the structural strength, communication stability, and user experience of drone relay stations through virtual simulation and finite element analysis. With continuous technological advancements, forest emergency rescue drone systems will further refine drone relay station capabilities.

Keywords

Forest emergency rescue; structural optimization; finite element analysis; infrared identification technology; hybrid energy power

基于中继站平台的森林应急救援领域无人机结构与外观效能优化研究

樊世龙 张琪 *

大连交通大学，中国·辽宁 大连 116028

摘要

在森林应急救援过程中，无人机作为辅助救援设备^[1]，通过快速识别灾情、紧急响应部署、实现通信与救援双效功能以及持久续航能力，显著提升了救援效率。本研究聚焦于基于中继站平台的森林应急救援领域无人机，在结构设计、材料选择、通信系统构建及外观效能优化等方面进行了全面探讨。设计过程中，充分考虑了成本效益与用户需求，确保设计方案既经济实用又符合大众期望。本研究不仅融合了红外识别、图像回传、混合能源动力等先进技术，还通过虚拟仿真与有限元分析等手段，对无人机中继站的结构强度、通信稳定性及用户体验进行了优化。随着科技的不断进步，森林应急救援无人机系统将进一步完善无人机中继站。

关键词

森林应急救援；结构优化；有限元分析；红外识别技术；混合能源动力

1 引言

由于森林火灾等突发事件在绝大多数情况下具有突发性、难以预测性，一旦发生往往迅速蔓延，对人民生命财产安全构成严重威胁。特别是在复杂多变的森林环境中^[2]，传统救援手段受限于地形、天气等因素，难以迅速有效地展开救援行动。而火灾等灾害的黄金救援时间极为有限，往往只有数小时甚至更短的时间窗口，若救援力量无法及时到

达，受灾区域的人员将面临极大的生命危险，同时火灾造成的财产损失也将不断扩大。

目前，森林应急救援主要依赖地面救援队伍和有限的航空支援，但这些手段在面对大面积、高强度的森林火灾时显得力不从心。地面救援队伍在茂密的森林中行进困难，且易受地形、天气等因素影响，救援效率低下；而现有的航空支援手段，如直升机等，虽然能够快速到达现场，但在恶劣天气或复杂地形条件下，其飞行安全和救援效果也会受到严重影响。此外，传统救援方式还存在人力成本高、响应速度慢、信息传递不畅等问题，难以满足现代森林应急救援的需求。

【作者简介】樊世龙（2000-），男，中国河北邯郸人，硕士，从事工业设计工程研究。

本文通过人工智能、5G 通信技术^[3]、无人机技术等的快速发展与普及，利用无人机作为辅助救援设备，构建基于中继站平台的森林应急救援体系，成为未来救援领域的重要发展方向。无人机具有机动性强、反应速度快、受地形限制小等优势，能够在复杂多变的森林环境中迅速展开救援行动。而中继站平台则能够显著提升无人机的通信能力和续航能力，确保救援信息能够实时、准确地传递，为救援决策提供有力支持。

2 无人机中继站系统：效能提升的核心路径

2.1 基于中继站平台的森林应急救援领域无人机的设计原理与技术特点

快速响应与精准定位：利用无人机的快速机动能力，结合先进的定位技术，实现对火灾等灾害现场的快速响应与精准定位，为救援行动争取宝贵时间。

高效通信与信息共享：通过中继站平台，构建稳定、高效的通信网络，确保救援指挥中心与现场救援队伍之间的信息畅通无阻，实现救援资源的优化配置与高效协同。

持久续航与多任务执行：采用先进的能源管理技术和高效的能源系统^[5]，提升无人机的续航能力，使其能够在长时间、高强度的救援任务中持续发挥作用。同时，通过模块化设计，使无人机能够搭载多种救援设备，执行多样化的救援任务。

2.2 国内外研究现状

2.2.1 无人机技术发展

近年来，无人机技术取得了显著进展。从最初的遥控飞行到如今的自主飞行^[3]、集群飞行，无人机的功能和应用范围不断扩大。在森林应急救援领域，无人机已广泛应用于火情监测、救援物资投放、通信中继等任务。

2.2.2 无人机中继站应用

无人机中继站作为解决通信盲区问题的有效手段，在森林应急救援中受到广泛关注。国内外学者已就无人机中继站的通信系统设计、部署策略等方面进行了大量研究。然而，针对无人机中继站在复杂森林环境下的结构与外观效能优化研究相对较少。

2.2.3 有限元分析与虚拟仿真

有限元分析作为一种有效的结构分析方法，已被广泛应用于航空航天、机械和土木工程等领域。在无人机设计领域，有限元分析可用于评估无人机结构的强度和稳定性，指导结构优化设计。虚拟仿真技术则能够模拟无人机在实际环境中的运行状况，为设计验证和优化提供有力支持。

2.3 研究内容与方法

本研究将从以下几个方面展开：

无人机中继站结构分析与优化：利用 ANSYS 等有限元分析软件，评估中继站模块在复杂环境下的强度和稳定性，提出结构优化方案。

无人机外观效能优化：结合气动布局设计、CFD 仿真

等方法，优化无人机外观，提高飞行稳定性和美观度。

通信系统设计与优化：研究无人机中继站的通信系统设计，包括通信协议、数据传输方式等，提高通信效能。

虚拟仿真与实验验证：利用 UNITY3D 等虚拟仿真平台，构建森林应急救援场景，对无人机进行虚拟仿真实验，验证设计方案的可行性和有效性。

研究方法包括文献研究、实地调研、用户访谈、有限元分析、虚拟仿真、实验验证等。

3 无人机中继站结构分析与优化

3.1 无人机中继站结构特点

无人机中继站作为无人机的重要组成部分，其结构设计需考虑重量、强度、稳定性等多方面因素。中继站模块通常包括通信设备、电源系统、控制系统等，这些部件的合理布局和连接方式对无人机的整体性能具有重要影响。

3.2 有限元分析方法

有限元分析是一种数值计算方法，通过将连续体离散化为有限个单元，对每个单元进行力学分析，最终得到整个结构的力学响应。在无人机中继站结构分析中，有限元分析可用于评估中继站模块在不同工况下的应力分布、变形情况等，为结构优化提供依据。

3.3 结构优化方案

基于有限元分析结果，提出以下结构优化方案：

材料选择：选用高强度、轻质材料，如碳纤维^[6]、玻璃纤维等，减轻中继站模块重量，提高结构强度。

布局优化：合理布局中继站模块内部部件，减少应力集中，提高整体稳定性。

连接方式优化：采用可靠的连接方式，确保中继站模块在复杂环境下的稳定性和安全性。

4 无人机外观效能优化

4.1 外观效能优化意义

无人机外观不仅影响美观度，还对飞行稳定性^[7]、气动性能等产生重要影响。在森林应急救援中，良好的外观效能有助于提高无人机的飞行效率和救援效果。

4.2 气动布局设计

气动布局设计是无人机外观优化的关键环节^[8]。通过优化机翼形状、机身线条等，减少飞行阻力，提高飞行速度和稳定性。同时，考虑森林环境的特殊性，设计适合低空飞行的气动布局。

4.3 CFD 仿真分析

利用 CFD（计算流体动力学）仿真技术^[9]，对无人机外观进行流体动力学分析，评估其在不同飞行条件下的气动性能。通过仿真分析，优化无人机外观，提高飞行效率和稳定性。

4.4 外观美观度与辨识度设计

在满足飞行性能要求的前提下，注重无人机外观的美

观度和辨识度设计。通过色彩搭配、标识设计等手段，提高无人机的辨识度，便于救援人员快速识别和定位。

5 无人机通信系统设计与优化

5.1 通信系统架构

无人机中继站的通信系统包括无人机平台、通信设备、数据传输与处理系统^[10]、控制与管理系统等。设计合理的

通信系统架构，确保无人机与地面救援团队、其他无人机之间的稳定通信。

5.2 通信技术选择

根据森林应急救援的需求，选择合适的通信技术，如 Wi-Fi、蓝牙、Zigbee 等短距离无线通信技术，以及 4G/5G 移动通信技术、卫星通信技术等长距离无线通信技术。通过多技术融合，提高通信系统的可靠性和稳定性。

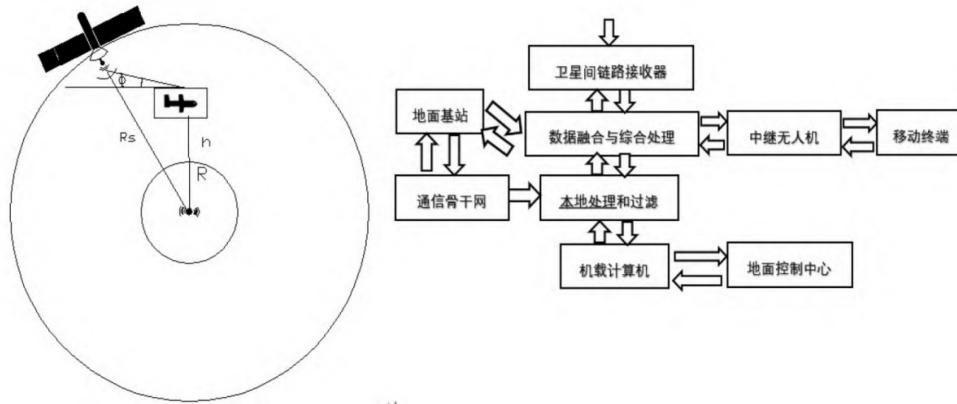


图 1 卫星与无人机信息交换示意图及星空地一体化通信系统中通信卫星的主要组成框图

5.3 网络协议优化

网络协议是保障通信系统稳定、高效运行的基础。通过优化网络协议设计，提高数据传输效率，减少通信延迟和丢包率。同时，考虑网络安全问题，确保通信数据的安全传输。

人机交互设计等前沿技术，提出了一系列针对无人机结构强度、稳定性、通信效能及外观设计的优化方案。研究结果表明，优化后的无人机中继站在复杂森林环境下表现出更好的飞行稳定性、通信效能及救援能力。

6 虚拟仿真与实验验证

6.1 虚拟仿真平台搭建

利用 Unity3D 等虚拟仿真平台，构建森林应急救援场景，模拟无人机在实际环境中的运行状况。通过虚拟仿真，评估无人机中继站的结构设计、通信效能及外观效能，为设计优化提供依据。

7.2 创新点

虚拟仿真技术应用：首次将虚拟仿真技术引入森林应急救援领域，构建了适用于该领域的虚拟仿真平台。通过虚拟仿真，可以更加直观地模拟救援场景，评估和优化产品设计，提高研发效率。

结构优化与创新设计：针对森林环境的特殊性和救援任务的需求，设计了一款具有高效通信、稳定中继、易于部署和维护等特点的无人机空中中继站产品。在结构设计上，特别关注了其气动布局、材料选择、结构强度与稳定性等方面优化和创新，提高了产品的可靠性和稳定性。

结构分析与有限元分析法的应用：利用有限元分析法等结构相关算法，对无人机空中中继站的结构进行了深入的分析和优化。通过评估结构的强度和稳定性，确保了中继站在各种极端条件下都能稳定工作。同时，结合虚拟仿真技术，对结构设计和性能表现进行了多轮迭代测试和优化，提高了产品的可靠性和稳定性。

7.3 未来展望

未来研究可进一步拓展以下几个方面：

多无人机协同作战：研究多无人机协同作战策略，提高无人机中继站在复杂救援场景下的协同作战能力。

智能化升级：引入人工智能、机器学习等技术，实现无人机中继站的智能化升级，提高其自主决策和应对复杂情

6.2 实验验证方案

设计实验验证方案，对无人机中继站进行实地测试。通过模拟不同救援场景，验证无人机中继站的飞行稳定性、通信效能及救援能力。同时，收集实验数据，为设计优化提供反馈。

6.3 优化调整

根据虚拟仿真和实验验证结果，对无人机中继站进行优化调整。针对存在的问题，提出改进措施，提高无人机中继站的整体性能。

7 结论与展望

7.1 研究成果总结

本研究围绕基于中继站平台的森林应急救援领域无人机结构与外观效能优化展开，通过有限元分析、虚拟仿真、

况的能力。

跨领域应用探索：探索无人机中继站在其他领域的应用潜力，如城市应急救援、灾害监测等，推动无人机技术的广泛应用和发展。

通过不断优化和创新，无人机中继站将在森林应急救援领域发挥更加重要的作用，为保护人类生命财产安全作出更大贡献。

参考文献

- [1] 刘威威.垂直起降无人机气动布局和结构设计分析[D].郑州航空工业管理学院,2023.DOI:10.27898/d.cnki.gzhgl.2023.000107.
- [2] 许金伟.带机械臂无人机的新型结构设计与控制方法研究[D].桂林电子科技大学,2023.DOI:10.27049/d.cnki.gglc.2023.000427.
- [3] 靳继红.基于工艺美术基础的农业无人机外壳外观设计[J].农机化研究,2025,47(02):195-199.DOI:10.13427/j.issn.1003-188X.2025.02.031.
- [4] 蒋卓一.基于共生理念的智慧城市无人机设计创新研究[D].南昌大学,2022.DOI:10.27232/d.cnki.gnchu.2022.001494.
- [5] 张京丽,于妍.基于JACK平台的作战仿真研究[J].现代信息科技,2024,8(12):129-133.DOI:10.19850/j.cnki.2096-4706.2024.12.028.
- [6] 叶威.基于Jack人因仿真的适老化淋浴座椅设计[D].中南林业科技大学,2022.DOI:10.27662/d.cnki.gznlc.2022.000581.
- [7] 汪炳森.救援无人机机械系统及结构设计[J].机电产品开发与创新,2024,37(05):25-28.
- [8] 李文.倾转四旋翼无人机结构设计与优化[D].南昌航空大学,2024.DOI:10.27233/d.cnki.gnchc.2024.000570.
- [9] 乔丕凡,陈殿鹏,于欣,等.输电高空作业无人机协同后备保护装置结构有限元分析[J].电气技术,2024,25(10):62-66.
- [10] 卢桂萍,吴一宁,杜灏轩,等.新型物流车载无人机系统结构设计[J].机电工程技术,2024,53(09):71-75.