

doi: 10.7690/bgzd.2023.10.019

# 无人机装备在航空坠机事故搜救中的应用

陈东<sup>1,2</sup>, 陈红林<sup>1</sup>, 傅彤<sup>2</sup>, 曹如琢<sup>2</sup>

(1. 战略支援部队信息工程大学研究生院, 郑州 450001; 2. 中国人民解放军 31401 部队, 长春 130012)

**摘要:** 针对航空坠机事故具有突发性、损失大、搜救要求高、难度大、调查程序复杂和次生危害影响深远等问题, 利用无人机(unmanned aerial vehicle, UAV)装备辅助执行事故搜救任务。利用无人机安全稳妥、载荷多样、机动灵活、快速高效和智能判读等优势, 结合技术发展及需求分析, 分析无人机应用于航空坠机事故搜救中的 9 种典型应用场景。结果表明, 该分析可为提高航空事故应急救援管理的科学化、信息化和智能化水平提供参考。

**关键词:** 无人机装备; 航空坠机; 事故搜救; 应用

**中图分类号:** V279 **文献标志码:** A

## Application of Unmanned Aerial Vehicle in Aviation Crash Search and Rescue

Chen Dong<sup>1,2</sup>, Chen Honglin<sup>1</sup>, Fu Tong<sup>2</sup>, Cao Ruzhuo<sup>2</sup>

(1. Graduate Student School, Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China;

2. No. 31401 Unit of PLA, Changchun 130012, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of aviation crash, such as suddenness, great loss, high search and rescue requirements, great difficulty, complex investigation procedures and far-reaching secondary hazards, unmanned aerial vehicle (UAV) equipment is used to assist the execution of accident search and rescue missions. Based on the advantages of UAV, such as safety and security, load diversity, flexibility, fast and efficient, and intelligent interpretation, combined with technology development and demand analysis, nine typical application scenarios of UAV in aviation crash search and rescue are analyzed. The results show that the analysis can provide reference for improving the scientific, information and intelligent level of aviation accident emergency rescue management.

**Keywords:** UAV equipment; air crash; accident search and rescue; application

## 0 引言

随着经济社会的不断发展和开放交流的日益深化, 人们对交通运输市场的需求也愈加强烈, 民航客机以其节省时间、轻松舒适、服务优质等优点而广受大众青睐, 但通用航空较高的事故率、伤亡率和死亡率仍然阻碍着行业的迅猛发展<sup>[1]</sup>。2022 年, 我国发生某型民航飞机坠毁山林事故, 坠机引发的山火、周边复杂的地形和降雨引发的山体滑坡等现实状况, 给现场救援搜寻工作增加了较大难度, 专业人员无法第一时间到达现场是影响事故救援效率的关键因素。近年来, 随着无人机装备的不断发展, 其应用范围逐步得到拓展延伸, 其特有的零伤亡、低成本、机动灵活和载荷多样等众多优势, 使无人机在航空坠机事故救援中潜藏着巨大的应用前景。基于此类事故搜救, 提出设计需求和典型应用场景, 探索研制多任务载荷的无人机, 对于快速高效实施搜救行动具有重要的现实意义。

## 1 航空机事故特点

### 1.1 具有突发性

客运航空器在起飞前, 必须经过一系列严格正规的全面检测, 对机身安全隐患进行细致排查, 对起飞条件和人员操作水平进行预先评估; 因此, 事故在发生前的征兆不易被察觉, 出现坠机事件的概率极低, 直接表现为事故的突发性特点。

### 1.2 生命财产损失巨大

尽管客运航空被定义为安全系数最高的公共交通出行方式, 但空难较高的致死率仍然是阻碍行业迅猛发展的重要因素。一旦发生航空坠机事故, 乘客和机组人员生还的可能性微乎其微, 一般情况下遇难者人数将多于 30 人, 按照国家《生产安全事故报告和调查处理条例》中对事故等级的划分标准, 航空坠机事故会被认定为“特别重大事故”, 单从经济角度来计算, 其带来的直接经济损失多达数十

收稿日期: 2023-06-21; 修回日期: 2023-07-19

作者简介: 陈东(1990—), 男, 吉林人, 硕士。

亿元，可见航空坠机事故的危害性极大。

### 1.3 搜救要求高、难度大

以国内某次客机事故为例，卫星遥感影像显示，坠机地点十分特殊，从地势上位于山谷之间，两侧海拔高度约在 90~150 m，落差较大，周边道路狭窄，沟谷纵横，不易到达，加之受降雨影响，外界通往核心区域的唯一道路出现部分山体滑坡，地形地貌及道路交通复杂，导致救援花费的时间较长，而坠机事故发生后，对机上生还者的搜救完全是在“与死神赛跑”，早一点展开救援，就多一分生的希望。同时，为最大限度寻找生还者，救援人员一度将搜救范围扩大到核心区域周边近 20 万平方米，因此对搜救的时间和空间维度要求都比较高。

### 1.4 坠机原因调查程序复杂

坠机事件发生后，国家民航局和应急管理部等单位会第一时间展开救援，同步启动事故原因调查机制，在缺少亲历者和目击者的情况下，现场寻找黑匣子就成了事故调查的关键，而且受数据修复与分析技术限制等因素影响，事故调查的周期较长，程序相当复杂。

### 1.5 次生危害影响深远

坠机事故发生后，不可避免地会给社会面造成一定影响：1) 遇难者家属承受着生离死别的人间悲剧，亲人的突然离世将成为他们一生难以抚平的伤痛；2) 给没有直接经历该事件的人带来心理阴影，至少在事故发生后的相当长一段时间里，人们在选择航空出行方式时仍会心存疑虑；3) 影响资本市场，回顾历次空难事件，必定会挫伤投资者信心，进而对航空板块股指形成一定冲击。

## 2 无人机在坠机事故搜救应用中的优点

UAV 是一种需要依靠动力装置，能够在空中进行持续、可控的任务飞行，或是能在航空航天空间均可实现可控飞行，能携带民用或军用性质的任务载荷执行任务，可一次性使用或可重复使用的无人驾驶飞行器<sup>[2]</sup>。针对上述坠机事故特点，可出动固定翼和多旋翼无人机搭载多任务载荷辅助参与事故救援，对专业搜救人员形成有效补充，对搜救任务提质增效具有不可比拟的优势。

### 2.1 安全系数高，可有效辅助人力作业

相比于传统的人工搜救方式，采用无人机辅助搜救的最大特点就是可以不必考虑极端恶劣环境给

作业人员带来的现实威胁，充分提高救援全过程的安全系数。航空飞机坠毁在山岳之中，往往会引发山林大火，加之地理位置特殊、路况复杂，在现场情况不明时，不便于人员贸然前往，利用无人机在搜救核心地带开启遥测侦察、喷射灭火弹(剂)、空投物资等作业模式，不仅可以降低人员伤亡率，而且可以及时高效地获取现场情况，为应急救援指挥决策提供准确依据。

### 2.2 适应能力强，可携带多种任务载荷

无人机的起飞与操控对场地条件的要求不高，环境适应能力强，可在高温、烟雾、有毒有害气体等多种复杂环境下执行任务，受气象条件限制较小<sup>[3]</sup>。坠机事故搜救过程中，可在各种天候条件下升空，快速机动至救援核心区域上空，与地面控制中心实时进行信息交互，通过搭载可见光成像仪、红外热成像探测仪、激光测距仪、通信中继器和生命探测仪等多种载荷，执行多样化现场搜救任务，也可多架不同载荷的无人机协同，开启“多无人机协同”式作业模式，执行长时间、多领域、全维度的事故搜救任务。

### 2.3 作业范围广，可增加搜救成功概率

无人机执行事故搜救任务可实现多角度、全方位侦察，搜救范围是以单架无人机为中心，高清光学传感器有效侦测距离为半径的 3 维立体作业区，便于应急救援指挥中心对现场的全局把握；同时，若需要对某一区域进行重点观测时，可通过地面控制中心远程遥控，使其降低飞行高度，并利用空中悬停和高倍变焦影像等技术，实现局部放大便于重点观察。

### 2.4 科技水平高，可智能判读辅助决策

随着机器学习、深度学习等多种算法的不断演进，无人机可兼具人工智能特征，自动识别生命体征、人体组织、机身残骸和航空器黑匣子等重点目标，并实现精准判读，同步回传地理空间坐标、外观、基本属性等物理特征，便于指挥中心精准高效部署搜救任务。

## 3 无人机事故搜救的典型应用场景

近年来，无人机凭借其轻便灵活，被越来越多的普通民众当作运载平台完成所需的功能，广泛应用于森林救火、航拍测绘、应急救援、影视拍摄、电网巡线和油管巡查等领域，国内外逐渐形成了规

模巨大的无人机市场<sup>[4]</sup>。在航空事故搜救中的典型应用场景如图 1 所示。

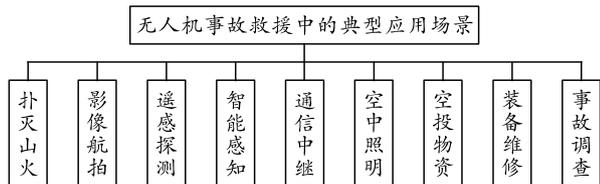


图 1 无人机事故救援中的典型应用场景

#### 1) 扑灭山火。

航空飞机失事前，飞行员在尝试多种自救手段无果后，一般会选择避开城市、村庄等居住密集区；因此，坠机地点多发生在人迹罕至的山林、海洋、湖泊等地。笔者研究背景为山岳救援，失事客机撞山后，通常会导致剧烈爆炸，加上剩余燃油助燃，进而引发山林大火；因此，实施航空坠机事故救援的首要任务就是消防。在过于特殊的火灾现场，消防人员难以到达预定的侦查区进行数据分析，此时就需要利用无人机快速抵达火灾现场获取准确信息，并由此为指挥人员提供有效依据<sup>[5]</sup>。另外，无人机也可挂载任务载荷直接用于灭火，结合前期侦察，将无人机悬停至火场上空 20 m 左右高度，对准起火点目标，分次或集中发射灭火弹，高温作用下喷射出灭火剂，造成过火区局部缺氧，进而抑制火势蔓延。

#### 2) 影像航拍。

目前，民用无人机最典型的应用就是航空拍摄，市场需求的推动也使得该领域的技术相对成熟，主要是利用搭载于无人机机身上的高清光电设备，在陀螺稳定、倾斜摄影等技术的加持下，对地面目标实施多角度、全方位、立体化的航空侦察，通过从垂直和倾斜等不同角度获取符合人眼观察习惯的立体空间影像，弥补传统方式单从垂直角度获取正射影像的不足，增强 3 维数据带来的沉浸式体验。在搜救行动展开初始阶段，人员到达核心救援区之前，通过可见光成像仪和红外热敏成像仪等，对事故现场进行全局观测，发送实时影像传输至地面指挥机构，为指挥中心定下救援方案提供一手资料，当发现重点区域需放大观测时，可利用其自带的高倍聚焦功能获得局部影像，便于指挥中心精准掌握前沿信息，引导地面搜救人员高效灵活处置灾情，寻找幸存生命体和遗迹残骸。

#### 3) 遥感探测。

无人机航空遥感系统非常适合于各种自然灾害的应急救援，实现了危险区域的无人侦测，加快了

灾情数据的收集，提高了指挥决策研判的准确性<sup>[6]</sup>。根据探测传感器种类的不同，可大致携带 4 种类型探测系统：1) 超宽带雷达式生命探测仪，可对地面或地下生命体进行雷达探测，接收特定回波确定幸存者位置；2) 测温红外热成像仪，通过检测生命体发出的热辐射红外线信号，与周边干扰物、遮挡物以及环境温度等进行比对，从而发现生命体，并进行实时跟踪监测；3) 电磁辐射感应器，通过感应遇难者随身携带的手机、智能手环等电子装备所发出的电磁波，锁定位置信息后，可循迹搜寻到机上人员，此类感应器也可用于探测黑匣子、机上电磁装置等遗骸，为后续事故调查提供有力证据；4) 多源信息融合传感器，通过搭载多用途探测仪，分别形成目标评估报告，经指挥中心多方验证，提高对重点目标的辨识度和准确率，现场作业情况如图 2。

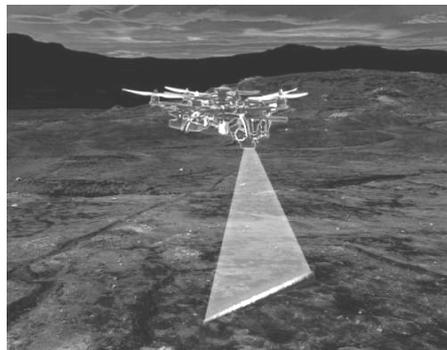


图 2 无人机装备远程搜救现场作业

#### 4) 智能感知。

目前，无人机传感器所获取的目标影像经通信链路回传至地面控制中心后，一般以人工方式判别，存在成本高、效率低和易误判等缺点，尚未实现计算机的智能识别检测，制约了无人机态势感知的自动化水平。为此，探索运用基于卷积神经网络 (convolutional neural network, CNN) 构建一种卷积层为 5 层、池化层为 5 层的新模型 Cr-CNN，先将采集到的图像进行归一化处理，然后搭建训练模型，通过训练、验证，并经过二次测试后，验证模型的准确性，提高目标图像的识别精度<sup>[7]</sup>。通过人工预置航空影像，形成有体征生命体、人体组织、飞机残骸、黑匣子等影像数据集，基于仿真训练和测试，实现航拍现场影像中的重点目标识别，并对比传统的机器学习检测算法。当与实物类比相似度达到一定范围后，即可达成无人机航拍图像中搜索目标的自动检测，附带空间坐标、外观、属性等物理信息，经信息传输至指挥控制平台作进一步处理，同步派出救援人员现场甄别提取，为智能化搜救提供重要

辅助手段，智能化平台如图 3 所示。



图 3 智能无人机远程搜救平台

#### 5) 通信中继。

目前通用航空坠机事故大都发生在远离城市的山区农田森林等偏远地区，甚至还有过迫降在戈壁、沙漠和原始丛林等处，在救援消防力量都鞭长莫及的地方<sup>[8]</sup>。这些地点往往移动通信基础设施不完善，基站信号无法完全覆盖，通信质量差导致现场与外界联络不畅，直接影响事故救援效果。专业力量到达事发地附近时，也可选择卫星通信手段，但也存在传输时延大、信号易中断、通信误码率高等局限性。基于此，可考虑在救援现场上空升一架载有通信中继设备的无人机，构建起由点到面的应急通信网，建立受灾区域联通至地面移动通信网的临时通信链路，达到延长通信距离，扩展覆盖范围的目的，以保障整个搜救行动的通信联络。此外，通过研发新型动力源、制作小型化中继设备、双机热备轮换作业等方式，解决无人机承重负载和续航能力的问题，确保指挥通联手段迅速、准确、不间断。

#### 6) 空中照明。

坠机事故搜救行动应有效利用“黄金”救援时间，专业人员奔赴现场实施搜救应采取多波次“轮战”方式进行，即在应急救援中心的指挥下，确认当前作业梯队达到满负荷运转状态后，有序组织回撤休整，并指定预备梯队接替展开，以保持救援队员始终具备充足体力作支撑；因此，无论白天黑夜，救援任务都不能中断。为解决夜间视野受限问题，可发挥无人机大区域照明的作用，通过搭载氙气或大功率 LED 大灯等照明设备，辅助携带蓄电池或市电供电系统，利用航迹规划或空中悬停等技术，确保夜间同样具备足够的可见度，便于救援队连续执行搜救作业任务。

#### 7) 空投物资。

当智能化无人机探测到有生命体征的幸存者迹象时，经地面应急指挥中心确认并派出空投无人

机前出保障，通过挂载食物、饮水、医疗、通信和绳索等应急物资，点对点实施精确投送，可帮助幸存者实施先期自救，为后续救援队到达现场争取宝贵时间。结合无人机设计要求，可选择多旋翼无人机，动力源可选择油电混合装置，灵活挂载相应的救援物资，依据探测无人机发回的地理空间坐标飞抵目标点上空，无人机可以通过驱动旋翼产生拉力进而抵消自身重力，因而能够在很长一段时间内保持悬停的状态<sup>[9]</sup>，并投送应急物资，最大限度为事故幸存者提供早期医疗和急救保障。同时，采用高功率广播通信系统与遇险者建立临时通话，辅助实施伤情判断、心理疏导、自救指令传递等空中喊话功能，配备多波段杂波滤波器，确保语音清晰、传递流畅，力争在专业人员到达现场前为幸存人员提供生命支持。

#### 8) 装备维修。

在航空事故搜救中，将动用大量的信息通信、电磁频谱、指挥控制、卫星导航等信息系统装备，受恶劣作业环境影响，该类装备出现故障的概率相对较高，现场修理所花费的时间成本必然会降低救援效率；因此，可利用无人机装备辅助实施故障装备的转运后送、部件更换、体系接替、数据备份等操作，确保装备维修保障以能力的维护和恢复为目标，最大限度保证救援装备处于良好运行状态，以此抢占“黄金”救援时间。

#### 9) 事故调查。

民航运输一直被认为是最安全的运输方式，但仍然具有潜在风险，一旦发生飞行事故，致使人员伤亡、航空器损毁等后果，需通过开展调查来明晰事故原因，以纠正飞行中的错误操作<sup>[10]</sup>。坠机原因分析是在多部门联合调查的基础上，为揭露事实真相，给遇难者及家属乃至整个社会公众一个交代的必要环节，更是查找不足、规避风险、制定对策的重要举措。专业人员在实施搜救过程中，要兼顾收集现场证据，如操作台与塔台的通话录音、黑匣子等重要目标都应纳入搜索范围，利用无人机辅助救援，能够快速搜索机上幸存者情况、航空飞机破损情况、事故现场周边环境等资料，具有的人工智能特征极大地提高了搜索效率，可信度较高，可为后续事故调查提供一线数据支撑。

## 4 结束语

为节省人力成本、减少人员伤亡，以航空坠机事故为代表的灾害救援行动迫切需要无人机装备辅

助执行部分危险性大、灵活性强、智能化程度高的搜救任务,结合事故救援特点、无人机技术优势和典型应用场景,进一步开发硬件资源,完善硬件手段,着力解决无人机电荷、负重、续航等方面的不足。同时,由应急管理部门牵头,对无人救援力量进行科学编组,并以任务划分职责范围,兼顾各无人机分队间战术协同,在日常救援训练演练中强化人员操作技能,定期组织专业化培训,力争在技术和实践 2 个层面上攻坚克难,提高“人机结合”的流畅度,确保高效严谨应对突发安全事件,有效遂行多样化事故搜救任务。

**参考文献:**

[1] 杨昌其,仇争平,朱志童,等.通用航空事故调查机制研究[J].中国科技信息,2017(15):119-120,122.  
 [2] 魏瑞轩,李学仁.先进无人机系统与作战运用[M].北京:国防工业出版社,2014:1-2.

\*\*\*\*\*

(上接第 91 页)

3) 由于集群无人机观测模型对观测几何不存在过多限制,该方法可充分利用有效观测数据对飞行器状态进行滤波估计,克服数据缺失、传输延迟等问题,从而提高系统的稳定性。

**参考文献:**

[1] 许晓伟,赖际舟,吕品,等.多无人机协同导航技术研究现状及进展[J].导航定位与授时,2017,4(4):1-9.  
 [2] 李文皓,张珩.无人机编队飞行技术的研究现状与展望[J].飞行力学,2007(1):9-11,18.  
 [3] 潘华,毛海涛.无人机编队飞行面临问题及关键技术研究[J].现代电子技术,2014,37(16):77-79.  
 [4] 熊骏,熊智,于永军,等.超宽带测距辅助的无人机近距离相对导航方法[J].中国惯性技术学报,2018,26(3):346-351.  
 [5] 王念曾,李荣冰,韩志凤,等.基于惯性/GNSS/UWB的小型无人机相对导航算法研究[J].电子测量技术,2019,42(16):94-100.  
 [6] XU H, WANG L Q, ZHANG Y C, et al. Decentralized Visual-Inertial-UWB Fusion for Relative State Estimation of Aerial Swarm[C]//2020 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA). IEEE, 2020:

[3] 陈思帆.无人机及其吊舱载荷在应急救援中的应用——基于响水“3·21”爆炸事故[J].武警学院学报,2020,36(12):34-39.  
 [4] 陈为业.基于数据融合的无人机辐射源定位技术研究[D].郑州:战略支援部队信息工程大学,2021.  
 [5] 应志登.浅析无人机在消防灭火救援工作中的运用体现[J].新型工业化,2021,11(6):61-62.  
 [6] 刘亚爽,朱毓杰,林芬芳.浅谈无人机航空遥感系统在抢险救援中的应用[J].四川水力发电,2016,35(4):68-70.  
 [7] 肖姜.基于深度学习的跨海大桥灾害救援研究[D].扬州:扬州大学,2021.  
 [8] 李海,谢文强,周林.无人机技术在通航事故应急救援中的应用研究[J].轻工科技,2019,35(12):68-69,84.  
 [9] 吴鹏飞.面向物联网设备的无人机辅助能量补给技术研究[D].南京:南京邮电大学,2020.  
 [10] 张雪莹.国际民航事故调查制度中推行“公正文化”的困境与出路[D].上海:华东政法大学,2019.  
 [7] 刘俊成,张京娟,冯培德.基于相互测距信息的机群组网协同定位技术[J].北京航空航天大学学报,2012,38(4):541-545.  
 [8] 郝菁,蔚保国,何成龙.基于惯导/数据链的动态相对定位方法[J].计算机测量与控制,2018,26(10):191-195.  
 [9] 于卓静,孙永荣,朱云峰,等.测角测距信息下的双机协同高精度定位算法[J].兵工自动化,2019,38(2):1-5.  
 [10] 潘瑞鸿,徐胜红.基于几何特性的多无人机协同导航算法[J].兵器装备工程学报,2017,38(10):55-59,96.  
 [11] 屈耀红,张峰,谷任能,等.基于距离测量的多无人机协同目标定位方法[J].西北工业大学学报,2019,37(2):266-272.  
 [12] 宗群,王丹丹,邵士凯,等.多无人机协同编队飞行控制研究现状及发展[J].哈尔滨工业大学学报,2017,49(3):1-14.  
 [13] SEILER P, PANT A, HEDRICK K. Analysis of bird formations[C]//Proceedings of the 41st IEEE Conference on Decision and Control, 2002, 1: 118-123.  
 [14] 樊琼剑,杨忠,方挺,等.多无人机协同编队飞行控制的研究现状[J].航空学报,2009,30(4):683-691.  
 [15] 秦永元,张洪钺,汪叔华.卡尔曼滤波与组合导航原理[M].3版.西安:西北工业大学出版社,2015:199-211.