

# 化工事故应急响应中无人机技术的应用与优化研究

陶华祥<sup>1</sup> 章璐<sup>2\*</sup> 董云祥<sup>1</sup> 潘海朋<sup>3</sup>

1. 杭州衡信安全科技有限公司 浙江 杭州 310000

2. 杭州上城区人力资源开发服务有限公司 浙江 杭州 310000

3. 杭州优迈科技有限公司 浙江 杭州 310000

**摘要:** 随着化工行业发展,化工事故应急响应愈发关键。本研究聚焦无人机技术在此领域的应用与优化。剖析无人机技术基础,涵盖分类、关键技术及搭载设备功能等。深入分析化工事故场景特征与应急需求,揭示无人机应用优势。阐述其在事故侦察监测、救援指挥协调、物资投送及人员搜救等方面的应用。从硬件性能、软件算法、多机协同与集成应用提出优化策略。研究表明,无人机技术可有效提升化工事故应急响应效率与精准度,为化工安全生产提供有力支持,推进应急管理智能化发展。

**关键词:** 化工事故; 应急响应; 无人机技术; 应用优化

## 1 引言

化工产业作为国民经济支柱,生产涉及高危化学品与复杂工艺,事故频发,应急响应关乎生命财产安全。传统应急手段存在信息滞后、救援受限、人员风险高等问题,难以应对复杂事故场景。无人机凭借机动灵活、部署便捷、可抵近危险区域的优势,为化工事故应急带来新方向。其搭载的传感器与设备可实时监测采集数据,辅助决策;空中侦察能快速掌握事故态势。但当前无人机应用面临续航不足、环境适应性差、多机协同效率低等难题。本研究聚焦探索无人机在化工事故应急响应中的应用路径与优化策略,旨在提升应急救援智能化水平,强化化工行业安全保障能力。

## 2 无人机技术基础

### 2.1 无人机分类与特点

无人机按结构与飞行原理可分为固定翼、旋翼、固定翼-旋翼混合等类型。固定翼无人机依靠机翼产生升力,具备飞行速度快、航程远、载荷强的特点,适用于大范围化工园区巡查,但起降依赖跑道,灵活性不足。旋翼无人机以多旋翼为主,可垂直起降、空中悬停,便于在狭窄复杂区域近距离侦察事故现场,不过存在续航短、载荷小的局限。固定翼-旋翼混合无人机融合两者优势,兼具长航时与垂直起降能力,但技术复杂、成本较高。此外,扑翼无人机等新型结构凭借仿生特性,在隐蔽监测等场景颇具潜力。不同类型无人机在化工事故应急响应中,需依据实际需求合理选用。如图1所示:

### 2.2 无人机关键技术原理

无人机核心技术主要包括导航定位、飞行控制与通信传输。在导航定位上,全球卫星导航系统(如GPS、

北斗)联合惯性导航系统(INS),为无人机提供精准位置信息,即便卫星信号受扰,INS也能通过惯性传感器维持姿态与位置计算。飞行控制系统如同无人机的“大脑”,借助姿态传感器感知姿态角、角速度等数据,根据程序或指令调整电机转速与舵面角度,确保稳定飞行。通信传输依赖无线链路实现地面与无人机的数据交互,涵盖指令下达、状态反馈及数据传输,常用2.4GHz、5.8GHz频段,伴随4G/5G与自组网通信技术的应用,数据传输的稳定性与实时性大幅增强,保障无人机在复杂环境中的可靠运行<sup>[1]</sup>。



图1 无人机图

### 2.3 无人机搭载设备与功能

无人机在化工事故应急响应中,通过搭载多样化设备实现多元功能。高清可见光摄像头可拍摄现场图像与视频,直观呈现火情、泄漏区域等状况;红外热成像仪能穿透烟雾与黑暗,检测高温点及热源分布,辅助判断火势走向。气体传感器实时监测氯气、硫化氢等有毒有害气体浓度及扩散范围,为处置提供数据。喊话器与照明设备助力远程指挥和人员疏散,激光雷达可快速构建

三维模型,辅助救援决策。此外,投放装置可投递物资与灭火药剂。这些设备集成于无人机平台,使其在环境监测、目标定位、通信中继等方面发挥关键作用,有效提升救援效率与决策科学性。

### 3 化工事故场景分析

#### 3.1 化工事故类型与特征

化工事故主要涵盖火灾、爆炸、有毒有害物质泄漏等类型。火灾事故常因易燃化学品遇明火或高温引发,具有蔓延速度快、火势凶猛的特点,易造成设备损毁与人员灼伤;爆炸事故破坏力极强,不仅瞬间释放巨大能量,还可能引发二次灾害;有毒有害物质泄漏则会对空气、水体等环境造成污染,威胁周边人员生命健康,其影响范围与持续时间取决于泄漏物质的理化性质及泄漏规模。这些事故往往伴随高温、高压、强腐蚀性环境,具有突发性强、危害性大、处置难度高的特征,给应急响应工作带来巨大挑战<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 化工事故应急响应需求

化工事故应急响应需快速获取准确信息,以了解事故现场状况,为科学决策提供依据。救援人员需掌握事故类型、危险物质种类、浓度分布、火势范围等关键信息,同时还需确定被困人员位置,评估周边环境风险。此外,应急响应还需高效调度救援资源,包括消防力量、专业救援队伍、医疗资源等,确保其精准投送至事故现场。同时,要保障救援人员安全,避免因盲目施救造成二次伤亡,因此对防护装备、安全监测设备及可靠通信手段存在迫切需求,以实现应急响应过程的高效、安全与有序。

#### 3.3 无人机在化工事故中的应用优势

无人机在化工事故应急响应中具有显著优势。其可快速升空,突破地形障碍,迅速抵达事故现场,第一时间获取全景信息,极大缩短侦察时间。无人机搭载的高清摄像头、红外热成像仪、气体传感器等设备,能在高空对事故区域进行全方位监测,实时回传高清图像、温度分布及气体浓度数据,使指挥人员直观掌握事故态势。此外,无人机无需人员进入危险区域,有效保障救援人员安全。相较于传统地面侦察手段,无人机不受交通拥堵、障碍物阻挡等因素限制,可灵活调整飞行路线与高度,实现对复杂事故现场的动态跟踪监测,为应急救援决策提供及时、准确的数据支持<sup>[3]</sup>。如图2所示:

## 4 无人机在化工事故应急响应中的应用

### 4.1 事故现场侦察与监测

化工事故发生后,快速掌握现场状况是应急处置的基础。无人机可凭借其灵活的飞行能力,迅速抵达事故

区域上空,搭载的高清摄像头与红外热成像仪能够实时采集事故现场图像,清晰呈现火灾蔓延范围、泄漏源位置、设备损毁程度等关键信息。此外,气体传感器可对事故现场的有毒有害气体浓度、爆炸极限等参数进行实时监测,并将数据通过通信链路及时回传至指挥中心。通过对这些数据的分析处理,指挥人员能够快速判断事故态势,评估潜在风险,为后续救援方案的制定提供可靠依据,极大地提升了事故初期信息获取的时效性与准确性<sup>[4]</sup>。



图2 无人机搭载高清摄像头图

### 4.2 救援指挥与协调

在化工事故救援过程中,高效的指挥与协调至关重要。无人机可作为空中通信中继节点,在事故现场因破坏导致地面通信网络瘫痪时,构建临时通信链路,保障指挥中心与救援人员之间的信息畅通。同时,无人机实时回传的现场高清画面,能让指挥人员直观掌握救援进展,及时发现救援过程中的问题与潜在危险,进而动态调整救援策略。此外,无人机还可利用喊话器等设备,向现场救援人员传达指令,引导其合理规避风险、协同作业,避免因信息不畅导致的救援混乱与重复作业,显著提高救援指挥的精准性与协调性,保障救援行动有序开展。

### 4.3 物资投送与人员搜救

在化工事故救援中,被困人员的生命救援与物资保障刻不容缓。无人机能够凭借精准定位与自主导航能力,在复杂危险的事故现场实现救援物资的精准投送。针对被困人员,可向其投送应急药品、食物、防护用具等物资,延长生存时间。同时,搭载生命探测设备的无人机可对事故区域进行大范围快速扫描,利用热成像、雷达波等技术,穿透烟雾、废墟等障碍物,探测被困人员的位置与生命体征。一旦发现目标,及时将信息反馈

给救援人员,为救援行动指明方向,极大地提高了人员搜救效率,降低被困人员伤亡风险,在化工事故救援中发挥重要作用。

## 5 无人机技术应用优化策略

### 5.1 硬件性能优化

针对化工事故现场高温、强腐蚀、电磁干扰等恶劣环境,无人机硬件需进行针对性优化。在续航能力方面,采用高能量密度的锂硫电池或氢燃料电池替代传统锂电池,通过优化电池管理系统提升电能利用效率,延长飞行时间。为增强载荷能力,重新设计无人机结构,采用碳纤维复合材料减轻机身重量,同时优化机翼与螺旋桨气动布局,在保证飞行稳定性的前提下提升有效载荷。面对化工事故现场的电磁干扰,在无人机电路设计中增加屏蔽罩,采用抗干扰性能强的通信模块,并引入冗余通信链路设计,确保数据传输的稳定性与可靠性。此外,对无人机搭载的传感器进行防护升级,加装耐腐蚀涂层与防水装置,保障设备在复杂环境下的正常运行<sup>[5]</sup>。

### 5.2 软件算法优化

软件算法优化是提升无人机在化工事故应急响应中作业效能的核心。在路径规划算法上,结合化工事故现场动态变化的环境信息,将传统的A\*算法与强化学习算法相结合,使无人机能够实时避开障碍物、危险区域,并快速规划最优侦察与救援路径。针对事故现场图像与数据处理,改进卷积神经网络算法,增强对火灾、泄漏等事故特征的识别精度,实现对事故范围、危害程度的快速判断。同时,优化数据融合算法,将无人机采集的视频、气体浓度、温度等多源异构数据进行高效融合分析,为指挥决策提供更全面、准确的信息。此外,通过建立无人机智能决策模型,使其能够根据预设规则与实时数据自主判断并执行应急任务,减少人工干预,提高响应效率。

### 5.3 多机协同与集成应用

多机协同与集成应用是发挥无人机技术优势的关键。在多机协同层面,构建分布式控制架构,借助自组网通信实现无人机组间信息交互,支持多机编队对化工园区等大面积事故现场进行协同侦察。同时,基于无人机

载荷、续航等参数设计任务分配算法,合理调配侦察、投送、通信中继等任务,提升作业效率。在集成应用方面,将无人机系统与地面应急指挥平台、消防机器人、救援车辆深度融合,统一数据接口与通信协议,实现信息实时共享。例如,无人机发现被困人员后,可即时传输位置信息,引导地面救援力量精准施救,构建空地一体化应急救援体系,增强化工事故应急响应效能。

## 6 结语

本研究系统探索了无人机技术在化工事故应急响应中的应用与优化策略。通过剖析无人机技术基础与化工事故场景需求,明确其在事故侦察、救援指挥、物资投送等环节的应用价值,并从硬件、软件及协同层面提出优化路径。硬件上,改进续航、载荷与抗干扰性能;软件中,优化路径规划、识别与决策算法;应用层面,推进多机协同及空地一体化集成,有效提升了应急响应的效率与精准度。然而,研究仍存在提升空间。无人机在极端复杂化工事故场景下的可靠性与智能化水平仍需增强,多机协同的稳定性和算法适应性有待进一步优化。未来研究将聚焦于研发耐高温、抗腐蚀的新型无人机装备,深化人工智能算法在复杂环境下的应用,加强多平台协同机制创新,为化工事故应急响应提供更可靠、高效的技术支撑,推动化工安全应急管理迈向智能化新台阶。

## 参考文献

- [1]冯三元.石油化工火灾消防救援中无人机的技术应用与优化[J].化工管理,2024(27):1210-1212.
- [2]黄元和,张爱鸿,张小龙.高含硫气田集输管道数字化安全管控技术探讨与研究[J].石油化工自动化,2023,59(S01):11-13.
- [3]雷珂,陈义保.无人机在石油石化领域的应用分析[J].中国石油大学胜利学院学报,2017,31(4):23-26.
- [4]张诗莹,李阳.融合事理知识图谱与网络舆情分析的突发事件情报支持路径及实证研究——以危化品事故为例[J].情报杂志,2023,42(8):123-130.
- [5]刘雨虹,龚雅妮.2020石油化工技术进展与趋势[J].世界石油工业,2020,27(6):75-80.