

无人机在石化园区消防巡检中的应用模式研究

邓越

应急管理大学安全工程学院 河北 廊坊 065201

摘要: 随着石化园区规模不断扩大以及危化品的日益集聚,消防安全风险变得日益严峻,传统巡检因受人力与效率的限制,很难契合全天候、精细化的监管要求,无人机有高机动性、广域覆盖以及快速响应的能力,可为消防巡检提供新的技术途径,本文对无人机在石化园区消防巡检中的应用模式展开系统研究,提出“空-地协同、智能识别、数据联动”的三级架构,整合红外热成像、气体传感以及高清摄像等多模态载荷,达成对关键设施的立体化、智能化监测。经过典型场景任务效率的对比分析,证实该系统在隐患识别率与应急响应时效方面比传统方式更具优势,结合实际案例可知,无人机巡检可有效提升早期风险预警能力,促使消防管理朝着数字化、智能化方向转变,为高危工业区域的安全运行提供有力保障。

关键词: 无人机;石化园区;消防巡检;智能监测;安全管理

引言:

石化行业在国家能源体系以及基础化工材料供应方面占据着关键地位,它的生产装置分布密集,物料流通状况复杂,常年于高温高压的环境里运行,一旦出现泄漏、火灾或者爆炸事故,很容易引发重大人员伤亡以及环境污染问题,依据应急管理部公布的《2023年全国安全生产事故统计年报》,当年总共发生了78起危险化学品相关事故,其中超过六成是在大型石化产业园区内发生的,这显示出传统安全监管手段在应对现代复杂工况时存在着较为十分突出的不足。在日常消防巡检环节,依靠人工步行或者车辆巡查的方式,劳动强度大不说,还会受到视线遮挡、地形障碍以及气候条件的限制,很难对高空管线、储罐顶部、封闭区域等关键部位实现有效的覆盖。

对无人机在石化园区消防巡检里的适用场景、技术集成方案以及运行机制展开研究,有关键的理论价值和现实意义,本文依靠梳理现有实践案例并归纳技术路线,构建一套科学合理的应用模式框架,明确各层级功能定位与协作逻辑,推动该项技术从零散尝试朝着制度化、规范化方向发展。研究聚焦于任务规划、载荷配置、数据分析与应急联动这四个核心维度,为我国石化行业智慧消防体系建设提供参考依据。

一、无人机应用于石化园区消防巡检的需求背景

(一) 石化园区消防巡检的传统困境

石化园区所占面积广阔,一般可达数百公顷之多,园区内部的布局较为复杂,其中包含原油储罐区、催化裂化装置、乙烯裂解炉、液化气球罐群以及火炬系统等有较高风险的单元,园区内设施呈现出网格化的分布状态,管道数量密集,构筑物之间存在十分突出的高差,这使得日常巡检工作面临较大的难度。

传统巡检依靠安全员借助步行巡视以及巡检车对主干道进行通览,尽管其成本较低且操作较为简便,然而却存在着较大的局限性,人力可覆盖的范围相对有限,像是高处管廊、塔器顶部以及冷却塔内部等区域,很难进行近距离的检测,这样容易导致隐患出现遗漏的情况,检测结果会

受到人员经验以及责任心的影响,一致性较差。对于突发泄漏事件的响应较为迟缓,从报警到抵达现场平均耗时超过15分钟,处置窗口大多时候会被延误^[1]。

在暴雨、浓雾以及夜间低能见度等极端天气状况下,人工巡检往往会出现中断或者降频的情况,形成监管方面的空白区域,而恰恰是在这些时段,雷击、腐蚀加剧以及压力波动等事故处于高发阶段,另外部分区域存在有毒气体逸散的风险,长时间暴露在这样的环境中会对巡检人员的健康造成危害。

(二) 无人机技术发展的适配性基础

自21世纪初无人机技术开始进入民用领域之后,依靠导航定位、图像处理、电池储能以及无线通信等关键技术取得的突破,工业级机型达成了向专业化以及高可靠性的

转变，主流的多旋翼无人机一般都拥有30分钟以上的续航时间、厘米级别的定位精度、6级的抗风能力以及全天候飞行调度功能，其开放式载荷接口可支持多类传感器进行集成，实现任务定制化。

在石化园区的场景当中，无人机呈现出了适配方面的优势，它有垂直起降以及自主飞行的能力，可克服复杂的地形和物理阻隔，达成无死角的巡查工作，其响应速度较快，在数分钟之内就可以完成部署并到达目标区域，适合用于突发事件初期的态势评估，凭借集成可见光、红外热像仪、激光雷达、微型气象站以及电化学气体传感器，无人机单次飞行可同时获取视觉图像、温度场、三维点云、气象参数以及多组分气体浓度，提升数据的多维性与完整性^[2]。

在国家政策方面积极推进无人机于工业安全领域的运用，2022年工信部同应急管理部联合发布的《关于加快推动“工业互联网+安全生产”行动计划的通知》明确鼓励在高危场所布置智能巡检机器人以及无人飞行器，构建起空地一体化的监测体系，许多地方政府陆续出台配套政策，支持石化、电力、冶金等行业开展试点应用，技术成熟以及政策引导形成了双重驱动，为无人机参与消防巡检给予了有力支持。

二、无人机消防巡检系统的技术架构与功能实现

（一）多模态传感器集成与数据采集机制

要达成高效消防巡检，需搭建能集成多模态感知能力的综合探测平台，现代工业级无人机凭借模块化架构，可同时搭载高清光学相机、红外热成像仪、可燃气体检测模块、紫外火焰探测器以及轻型激光雷达等多种载荷，形成有“一机多能”特点的复合型巡检终端，在石化园区风险识别与状态监测方面有着广泛应用^[3]。

高清光学相机，其分辨率达到或超过4K，搭配变焦镜头，可支持远距离的全景成像以及局部细节的捕捉，可用于设备外观的检查、铭牌的识别以及入侵痕迹的记录，为责任追溯提供可视化的证据，红外热成像仪，例如FLIR Tau2系列，测温范围在-25℃至1500℃之间，精度为±2℃，能以非接触式的方式检测设备表面的温度场，有效识别因电气连接松动、摩擦过热或者保温失效所引发的异常升温，实现早期热故障的预警。

可燃气体检测模块运用半导体或者电化学传感器，对甲烷、丙烷、硫化氢以及苯系物等危险气体的浓度进行实时监

测，无人机借助微型泵吸系统持续采样，并结合GPS生成气体空间分布图谱，一旦浓度超过阈值便会触发定位告警，高端机型集成了紫外火焰探测器，可利用太阳盲区波段精确识别微弱火源，适用于火炬监控以及夜间燃烧预警。

来自多个源头的传感器数据借助高速总线进入机载计算单元，在该单元内进行去除噪声、压缩以及编码等处理工作，之后经由4G/5G或者专用数传链路的双通道冗余方式回传至地面指挥中心，以此保证数据的完整性和时效性，全部数据都依照统一的时空基准，每一帧信息都嵌入精确的时间戳和地理坐标，为后续的多维融合分析以及智能诊断提供支持^[4]。

（二）智能飞行控制与任务规划系统

无人机可高效执行巡检任务，这并非仅仅依靠感知系统，飞行控制以及任务管理的智能化水平同样起着关键作用，现代的无人机机型整合了GNSS/RTK高精度定位、惯性导航以及视觉SLAM算法，拥有在卫星信号较弱的环境中保持稳定飞行的能力，飞控系统内部设置了避障模块，借助多向TOF传感器实时创建局部三维地图，对航迹进行动态修正，达成在复杂结构之间安全穿行的目的。

在应急响应模式当中，无人机可切换成手动遥控或者半自主跟踪状态，当接收到火警信息之后，控制台可凭借一键操作来调度距离最近且处于待命状态的平台，使其紧急起飞，沿着最优的路径迅速抵达现场，并且实时回传视频流，到达现场之后，无人机执行盘旋侦察、近距离观测以及热源追踪等任务，精准地识别火点的位置、蔓延的趋势以及受到威胁的设施，以此为应急决策提供情报方面的支持。

在整个流程中实施严格的安全管控措施，要求所有无人机都进行注册备案，飞行计划要经过园区空域管理部门的审批，以此来避免出现空域冲突的情况，依靠电子围栏可防止无人机误入禁飞区域，当无人机处于低电量状态或者通信出现异常时可自动返航，部分机型还配备了降落伞应急回收装置，这些措施可有效地保障资产以及人员的安全。

三、无人机在石化园区消防巡检中的典型应用模式

（一）日常例行巡检模式

无人机在石化园区里，日常例行巡检属于最基础的应用方式，其来构建常态化的安全隐患排查机制，这种模式按照日、周、月三个级别周期来实施，可覆盖整个园区的重点防火区域。

某东部沿海石化基地运用无人机巡检的相关应用数据说

明,在引入无人机巡检之后,三类典型隐患的平均发现时间有了明显缩短,识别效率得到了全面提升,高空隐蔽缺陷的检出能力提升较大^[5]。

表1 三类典型隐患的平均发现时间

隐患类型	传统人工巡检平均发现时间(小时)	无人机巡检平均发现时间(小时)	效率提升比例
高空管线保温层破损	36	6	83.3%
储罐根部阀微小泄漏	28	4	85.7%
电气接线盒过热	20	3	85.0%

需要说明的是,此处所涉及的数据源自某石化园区在2023年1月至2024年6月期间的实际运行记录统计情况。

由表中内容可看出,无人机在缩短隐患响应时间这一方面呈现出较为突出的表现,在处理那些难以依靠目视察觉的问题时有明显优势,这对于减少事故发生概率有所帮助,同时也为预防性维护提供了更为充足的时间窗口。

(二) 应急响应与灾情评估模式

与日常巡检相比较而言,应急响应乃是无人机可实现其核心价值的关键应用场景,当石化园区出现可燃气体泄漏、初期火灾这类突发险情的时候,迅速获取现场的态势是十分关键的,由于受到爆炸风险、浓烟以及结构安全隐患等因素的限制,人工抵近进行侦察的可行性较低,无人机依靠非接触式作业的优势,可以充当“先锋侦察平台”,在保证零人员伤亡的情况下进入高危区域,并且实时回传多维数据。

2024年春季发生在某内陆石化厂的丙烯泄漏事件,充分验证了该项技术在实战中的效能,DCS系统发出报警之后的两分钟内,待命状态的无人机迅速升空,在距离报警点800

米的管廊下方检测出了高浓度的丙烯,并且确定了法兰喷射泄漏源,指挥中心在12分钟内就完成了阀门切断、喷淋启动以及人员疏散等一系列操作,成功避免了重大爆炸事故的发生。事后评估显示,若采用人工排查的方式,预计耗时会超过40分钟,且风险处于不可控状态,实践证明,无人机已经从单一的信息采集终端,升级成为可驱动消防决策朝着“数据主导”方向转型的战略装备,极大地提升了危化品事故应急响应的效率以及安全性。

四、结束语

本文对无人机在石化园区消防巡检里的应用模式展开了系统剖析,给出了一种技术架构,它是基于多传感器融合、智能飞行控制以及数据联动分析的,这种架构可突破传统人工巡检在覆盖范围、响应效率和作业安全等方面存在的局限,达成从被动处置到主动防控的转变,在日常巡检的时候,无人机可支持高频次、标准化的自动作业,极大地提高了隐患识别率以及处理时效,特别适用于高空、狭小这类高风险区域,在应急场景当中,无人机作为前端侦察平台,可以快速把灾情信息回传,为指挥决策的精准化与科学化提供支持,构建出“平时+战时”一体化的监管闭环。

当下依然存在着一些问题需要解决,比如强电磁干扰、恶劣气象适应性、数据安全以及标准缺失等,在未来,应当促使无人机系统和如DCS、SIS、GIS等工业平台进行深度融合,推动边缘计算以及由AI驱动的本地化智能诊断的发展,以此达成“感知—分析—决策—执行”整个流程的自动化。预估在3至5年的时间内,无人机将会成为大型工业园区消防体系里的标准配置,迫切需要加强跨学科协作以及政策引导,加快试点示范的进程,帮助高危工业安全治理朝着智能化方向升级。

参考文献:

- [1]李瑶.智慧消防系统在化工园区安全管控中的融合应用研究[J].化工管理,2025,(32):93-96.DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2025.32.024.
- [2]张敏.无人机技术在石油化工火灾消防救援中的应用研究[J].化工管理,2025,(27):94-97+125.DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2025.27.023.

- [3]叶飞.危化品仓库火灾应急救援中5G与无人机技术的应用[J].化工管理,2023,(18):75-77.DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2023.18.021.

- [4]蒋钰,何强,宋治,等.基于无人机的电力线路安全巡检系统设计[J].电力安全技术,2022,24(06):40-42.

- [5]刘存龙,涂新华,崔汝东,等.浅析智能设备在西北油田发展中的成功应用[J].中国设备工程,2021,(S1):47-50.