

城市低空无人机防御体系构建与应用分析

牟安旭

江南机电设计研究所 贵州 贵阳 550009

【摘要】：伴随民用无人机保有量持续增长，城市低空黑飞风险逐年攀升，传统安防模式难以实现全域低空管控。本文从构建必要性切入，搭建包含融合探测、软硬反制、智能调度三大模块的低空防御体系，引入目标识别置信度量化公式明确判定标准，结合设备布设参数与行业调研数据阐述落地实操路径，梳理体系分步部署、制度落地、流程再造全应用流程，为城市低空安全治理提供可落地的系统化防控方案。

【关键词】：城市低空；无人机防御；智能管控平台

DOI:10.12417/3041-0630.26.10.033

引言

2025年末国内民用无人机保有量突破800万台，城市重点区域违规飞行事件增幅显著，小型改装无人机带来空域干扰、设施损毁等多重安全隐患。传统安防手段覆盖范围有限，缺乏联动识别与分级处置能力，低空治理存在明显短板。为补齐城市公共安全管控缺口，本文围绕低空无人机防御体系搭建与落地应用展开分析，明确体系核心建设内容与标准化实施流程，为城市低空常态化安防工作提供实操参考。

1 城市低空无人机防御体系构建的必要性

中国航空运输协会通用航空分会统计数据显示，2025年末国内民用无人机保有量突破800万台，城市政务核心区、交通枢纽、商业商圈等重点空域违规飞行事件年均涨幅达16%。传统城市安防监控模式呈现零散化、碎片化特征，有效管控高度仅局限于离地50m以下低空区域，全域空域管控能力存在明显缺失。市面主流小型消费级无人机飞行半径可达2km，经过简易改装的机型可搭载摄像、抛投类作业载荷，各类低空飞行活动干扰大型公共活动空域秩序，对高层建筑、城市电力管网等关键基础设施构成切实安全威胁^[1]。单一视频监控、人工巡查的传统安防形式无法实现跨区域信息联动，难以实现低空目标精准定位、飞行轨迹持续追踪与分级处置。

2 城市低空无人机防御体系构建内容

2.1 构建全域融合探测预警网络

全域融合探测预警网络整合雷达、无线电侦测、光电成像设备实现分层布防，整体布设标准贴合中国民用航空局2024年低空安防相关规范。政务核心区域以0.8km为间距布设无源无线电侦测设备，信号捕捉频段维持0.3GHz至6GHz，设备有效识别半径可达1.5km。城市商圈、交通枢纽制高点部署有源脉冲雷达，设备垂直探测高度上限1000m、水平扫描范围3km，搭配高清红外光电跟踪设备完成目标二次核验，解决雷达难以区分无人机与鸟类杂波的技术问题。设备采用重叠覆盖布设方

式，核心管控区域探测重叠覆盖率保持85%以上，城郊过渡区域覆盖率不低于60%。前端终端依托光纤与5G双链路向上传输空域数据，平台搭载专属杂波过滤数据库，录入城市建筑电磁干扰、鸟类活动等环境特征，依托智能算法过滤90%以上无效预警信息，降低人工复核压力^[2]。系统搭载全天候自检程序，每30分钟完成一轮设备状态巡检，故障设备可自动生成运维工单，保障探测网络持续稳定运转。空域目标识别置信度计算公式： $C = S_r \times 0.5 + S_w \times 0.3 + S_o \times 0.2$ ，式中C代表目标识别综合置信度， S_r 为雷达回波特征匹配得分，取值区间0至1， S_w 为无线电信号频段匹配得分，取值区间0至1， S_o 为光电图像轮廓匹配得分，取值区间0至1，当计算得出的C数值大于0.7时系统自动判定目标为违规无人机并触发一级预警。

2.2 搭建软硬协同反制处置体系

软硬协同反制处置体系依据风险等级划分三级处置模式，适配不同类型违规无人机的管控需求。普通消费级无人机违规飞行场景优先启用软反制设备，预警系统锁定目标坐标后，定向射频干扰设备可输出2.4GHz、5.8GHz频段干扰信号，2km范围内可有效压制无人机遥控与图传信号，促使设备自主迫降或返航。搭载抛投、摄像专用载荷的改装高危无人机，适配硬反制处置模式，机场、大型赛事场馆等特级管控空域部署网捕式拦截设备，设备响应延迟控制在2s以内，有效拦截高度覆盖50m至800m区间。反制设备实行分区差异化布设，核心禁飞空域同步配置软硬两类反制终端，城郊常规管控空域仅布置射频软反制设备，规避高强度反制操作对民用通信信号造成的干扰。设备操作权限实行分级管控机制，基层安保人员仅可操作低功率软干扰设备，大功率硬拦截设备启动需要属地公安空管专员线上审批。系统同步搭建反制效果台账，记录每次处置作业的无人机型号、处置距离、处置结果，按月统计处置工作达标率。中国航空安全协会2025年行业调研数据表明，标准化软硬协同处置模式可将违规无人机处置成功率提升至92.3%，低空黑飞引发的各类安全事故得到有效管控。见图1

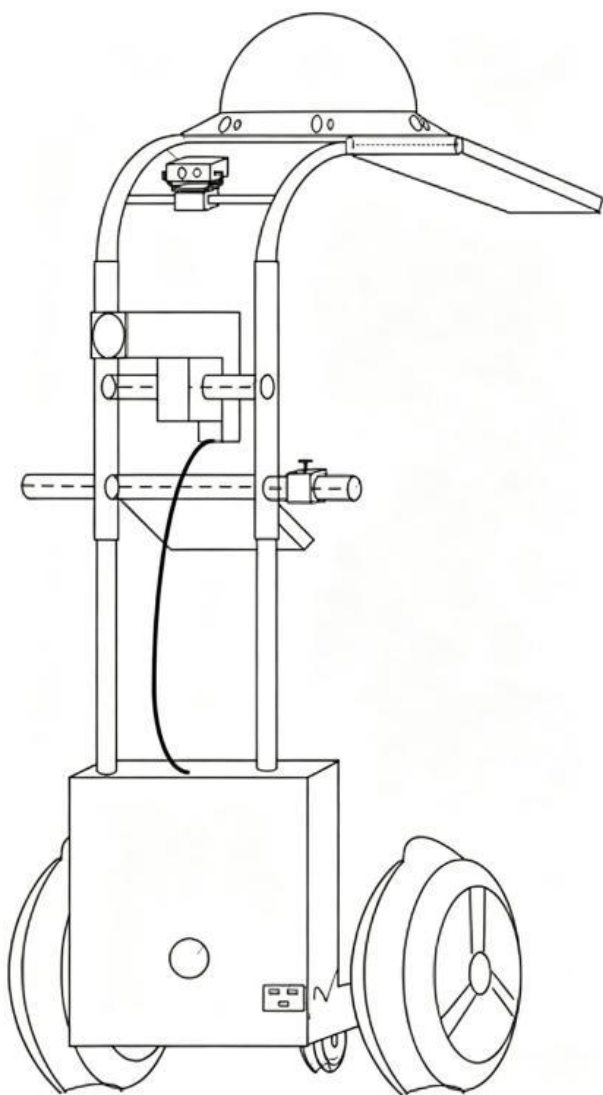


图1 移动式一体化低空无人机防御整机结构示意图

2.3 打造一体化智能管控调度平台

一体化智能管控调度平台采用云边协同架构搭建,由边缘端接收前端探测、反制设备实时数据,云端统一负责数据存储、全域调度与算法迭代工作。平台单节点存储容量12TB,可完整留存180天空域轨迹与预警处置数据,保障低空安防数据可

参考文献:

- [1] 杜冬霞.融合智能算法的城市低空物流无人机航迹规划[J].数字技术与应用,2025,43(1):199-201.
- [2] 吴树强.无人机视频智能巡检系统在跨座式单轨交通的应用[J].都市轨道交通,2025,38(2):124-132.
- [3] 李浩.城市低空消防救援无人机专业编队建设研究[J].消防界(电子版),2025,11(20):34-36.

追溯。平台设置全域空域地图、设备状态监控、预警工单处置、空管审批四大功能板块,可在单页面完成目标定位、设备调度、指令下发等全流程操作。平台打通公安、交通、应急管理多部门内网,构建跨部门联动机制,当监测到高危无人机入侵核心空域时,可自动推送预警信息,同步生成最优处置路径并下发至现场安保点位。平台搭载自动化统计模块,每日汇总预警频次、设备故障率、反制成效等数据,自动生成安防运行报告,为设备点位优化、参数调整提供数据支撑。同时平台开放标准化对接端口,可兼容市面90%以上主流低空设备,无需更换现有终端即可完成系统适配,有效降低体系升级改造成本,构建起探测、反制、调度、复盘一体化的低空安全闭环管控模式。

3 城市低空无人机防御体系的应用过程

城市低空无人机防御体系落地实施采用分阶段建设模式,整体建设规范贴合2025年住建部发布的城市公共空域治理导则。项目前期完成全域空域点位勘测与管理权责划分,按照每5km²配置一支专职运维班组的标准组建属地作业团队,结合政务、交通、能源等不同空域的管控等级梳理分区清单,完成组织架构与管控需求的精准适配。制度体系建设同步分阶段推进,先期落地设备运维、反制审批两类基础规范,间隔60天完善跨部门联动处置细则,形成梯度化制度执行体系。业务流程结合实际应用场景完成优化升级,适配日常空域巡护、突发无人机入侵两类核心工作场景,常规预警工单处理时长控制在120s以内,大型活动空域保障工作开展前72h,完成全网设备精准校准。中国航空运输协会2025年监测数据证实,标准化落地流程可压缩32%的体系适配周期,人员、设备、管理制度可实现深度协同,保障防御体系长期稳定发挥空域管控效能^[3]。

4 结语

系统化低空无人机防御体系通过全域探测、分级反制、智能调度形成完整管控闭环,配套标准化落地流程能够有效降低城市低空安全风险。依托量化识别公式、行业实测数据搭建的防控框架适配各类城市空域场景,可有效弥补传统安防短板。后续可持续迭代智能算法、优化跨部门联动机制,进一步提升体系处置效率,持续筑牢城市低空公共安全防线。