

反无人机蜂群体系防御策略研究

赵 洋

江南机电设计研究所 贵州 贵阳 550000

【摘要】：本文针对无人机蜂群在协同性、规模优势与低可探测性等方面带来的新型威胁，系统分析了现有防空体系在感知、决策与拦截环节存在的结构性短板。围绕早期预警难、拦截成本高、体系协同弱等核心问题，提出基于多源传感器融合的探测链路协同策略，构建分层递进、软硬结合的拦截架构，并设计涵盖仿真测试、对抗演化与外场验证的闭环评估机制。研究表明，所构建的反蜂群防御体系在目标发现率、资源调度效率及抗饱和攻击能力方面显著优于传统模式，有效提升了对复杂蜂群威胁的体系化应对水平。

【关键词】：反无人机蜂群；协同探测；软硬杀伤融合；闭环评估；体系防御

DOI:10.12417/3041-0630.26.08.037

引言

近年来，无人机蜂群凭借其分布式智能、集群协同与低成本优势，迅速成为现代空域安全的重大威胁。其在低空超低空域的隐蔽突防能力、抗毁性强的自组织特性以及多样化的任务载荷，对传统防空体系构成系统性挑战。现有防御手段在探测灵敏度、响应时效性及拦截经济性等方面难以有效应对大规模、高动态蜂群攻击，暴露出感知盲区、决策迟滞与手段单一等结构性缺陷。在此背景下，亟需突破以单目标对抗为核心的旧有范式，从体系层面重构集预警、拦截、评估于一体的反蜂群防御架构，推动防御逻辑由点状响应向网络化、智能化、纵深化方向演进，为未来低空安防提供坚实支撑。

1 反无人机蜂群体系防御的问题界定与需求分析

1.1 无人机蜂群典型威胁特征与防御难点

无人机蜂群核心威胁特质与防御瓶颈集中于高度协同效应、数量规模优势及低可探测属性，蜂群体系依托群体智能涌现机制达成自主编队、路径谋划与任务调度，部分个体损毁情况下整体仍可维系作战效能，凸显出优异的抗扰性与自我修复潜能。飞行高度多落于低空超低空且雷达反射截面微小，配合复合材料应用与隐身构型设计，传统防空雷达难以实现有效捕捉与稳定追踪^[1]。蜂群往往以饱和突防模式发起冲击，短时间内释放海量目标易导致防御系统信息壅塞、火力通道告急，最终被蜂群突破防御阵线，蜂群可搭载侦察设备、电子干扰模块乃至爆炸载荷等多种装备，攻击样式灵活多样，对关键基础设施、军事据点及人员密集区域形成复合型威慑，现有防空系统在探测准确度、反应时效、拦截效能及成本控制上均遭遇突出困境，迫切需要搭建多层次、多手段融合的新型反制体系。

1.2 现有防御体系应对蜂群作战的短板

现有防御体系应对无人机蜂群作战存在多重结构性缺陷，传统防空架构多围绕高速高价值单体空中目标构建，探测追踪

及打击模式难以适配数量密集、体型小巧、低空飞行且机动多变的蜂群作战单元。雷达设备在复杂杂波场景下对低慢小目标感知效能偏弱，地形遮挡与电磁扰动会压缩预警窗口期，电子战干预即便能够形成信号迷惑，面对跳频加密及自主组网的蜂群编队也难以形成有效压制。动能拦截装备造价偏高，无法适配大批量低成本无人机的拦截需求，定向能相关装备仍未完成成熟应用，输出功率、续航性能及复杂环境适配性仍有明显不足，指挥控制架构难以完成高密度目标态势整合与智能研判，流程衔接拖沓，饱和突击场景下易出现信息拥堵与决策滞后，防御架构整体凸显感知覆盖不足、响应节奏迟缓、拦截投入偏高、抗饱和冲击能力偏弱等深层问题。

1.3 反蜂群体系防御的核心问题归纳

反蜂群防御体系核心症结，体现在应对大规模高动态强协同无人机集群时暴露的多维度能力短板。无人机蜂群依靠分布式自主决策机制完成编队构型与航线规划，行为演化呈现突出非线性特质与不确定特征，传统面向单一空中目标的探测追踪模式已难以适配此类作战场景。微型无人机信号特征微弱且地形遮挡加剧，压缩预警缓冲空间甚至错失预警时机。现有指挥架构难以快速完成海量机动目标威胁研判、等级排序与拦截资源调配，易引发资源错配和响应滞后^[2]。无线电压制、导航诱骗、实体拦截等单一反制手段均存在应用局限，功率覆盖、频段匹配及火力通道、成本效益均构成约束条件，各类反制装备缺乏统一时空基准下的联动配合，无法构建分层拦截与纵深防御布局，整体拉低反蜂群体系技术集成程度、实战发挥与整体抗毁韧性。

2 反无人机蜂群体系防御策略构建与验证

2.1 基于探测链路协同的蜂群早期预警策略

基于探测链路协同构建蜂群早期预警策略，借助多源异构传感网络搭建一体化探测架构，雷达、射频侦测、光电装置与

声学感知模块深度融合,实现低空慢速小目标全域覆盖与精准辨识。各类探测节点空间分散布设并保持时序同步采样,依托统一时空标准完成数据融合解析,提升密集编队、低雷达散射特征无人机群捕获概率与跟踪平稳度^[3]。探测链路设置动态任务调配模式,结合目标运动态势及环境干扰程度动态调整资源排布,优先保障重点空域监测需求。边缘计算架构落地前端环节完成信号预处理与威胁甄别,缩减数据传输时延,为后续拦截环节预留充足处置空间。链路依托高速抗干扰通信实现互联互通,搭建闭环反馈模式支撑探测效能自检与参数自适应调校,复杂电磁环境与城市遮挡场景下依旧保持蜂群目标长效平稳的预警侦测水平。

2.2 分层递进式硬杀伤与软杀伤融合拦截策略

分层递进式硬杀伤与软杀伤融合拦截策略,围绕目标威胁等级、距离远近及作战环境动态构建多级响应机制(见图1)。外层防御区以远程电子干扰、导航诱骗和通信阻断等软杀伤手段为主,通过大功率定向能设备或分布式干扰节点对蜂群实施集群压制,破坏其协同控制链路与定位能力,诱导其偏离预定航迹或陷入混乱状态。中层防御区部署高功率微波武器、激光系统及智能拦截弹药,在软杀伤失效或目标逼近关键区域时启动,对残余或抗干扰能力强的个体实施精确硬摧毁。内层则配置末端防空系统与自主拦截无人机,形成最后一道物理屏障,确保对突防目标的彻底清除。各层级间通过统一指挥控制系统实现信息共享与火力协同,依据实时战场态势自动切换拦截模式,软硬手段在时间、空间与功能上紧密耦合,既避免资源浪费,又提升整体拦截成功率与体系鲁棒性。

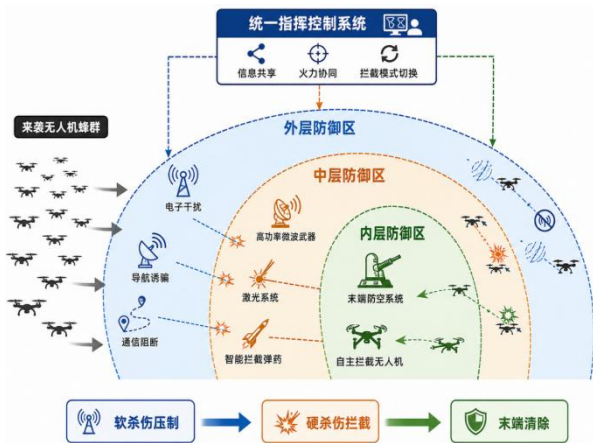


图1 分层递进式无人机蜂群软硬融合拦截体系示意图

参考文献:

[1] 周靖,黄芝平,张羿猛,等.反“无人机蜂群”灵巧网电作战新技术[J].国防科技,2025,46(01):115-125.
 [2] 张鹏飞,程文铮,米江勇,等.反无人机蜂群关键技术研究现状及展望[J].火炮发射与控制学报,2024,45(06):38-42+62.
 [3] 吴桐,谢伟朋,亓统帅.反无人机蜂群作战战术战法运用分析[J].中国电子科学研究院学报,2024,19(04):375-379.

2.3 策略有效性验证与实战化能力闭环评估

在反无人机蜂群体系防御策略构建与验证中,策略有效性验证与实战化能力闭环评估聚焦于多维度指标体系的建立与动态演进机制的融合。依托高保真仿真平台与半实物试验环境,通过注入不同规模、编队形态及智能等级的蜂群目标,对探测识别、干扰压制、硬杀伤拦截等子系统响应时效性、协同精度及资源调度效率进行量化评估。同时引入对抗演化机制,在红蓝对抗模式下持续迭代攻击策略与防御算法,检验体系在复杂电磁环境、强干扰背景及突防路径动态变化下的鲁棒性。实战化能力闭环评估则强调从实验室到外场试验再到任务场景部署的全链条验证流程,结合实装平台开展多域联合演练,采集真实作战数据用于模型修正与效能回溯,确保防御策略不仅满足理论性能边界,更具备战场适应性、快速重构能力和持续对抗演进潜力,从而形成“建模—测试—反馈—优化”的完整闭环。

3 结语

反无人机蜂群体系防御策略研究需立足于复杂战场环境下的实际对抗需求,通过构建多维融合的探测预警网络、分层协同的软硬杀伤手段以及闭环迭代的验证评估机制,系统性提升对高动态、强协同蜂群目标的应对能力。未来防御体系的发展应聚焦智能算法嵌入、异构资源高效调度与跨域协同控制等关键技术突破,推动反蜂群能力由被动响应向主动预判、由单元对抗向体系博弈演进,在确保技术先进性的同时强化实战适用性与持续进化能力。