

doi: 10.7690/bgzd.2025.09.020

美军无人机反制装备能力现状及发展趋势

崔庆春¹, 王 强², 杨 晗², 周 煜²

(1. 杭州智元研究院有限公司, 杭州 310000; 2. 成都航空职业技术学院无人机产业学院, 成都 610010)

摘要: 为有效探测、识别和反制小型无人机, 对美军无人机反制装备能力现状及发展重点、趋势及路径进行研究。区分综合指控、目标探测、电子干扰、激光打击、微波打击、网式捕捉、火力打击 7 类, 通过系统、全面分析美军 160 余型无人机反制装备能力现状, 并遴选了 25 型典型代表进行深度剖析。分别从顶层规划、装备研制、技术探索、试验验证等方向进行分析, 提出发展启示建议。结果表明, 该建议具有启示性, 可提供读者学习借鉴。

关键词: 美军; 小型无人机; 无人机反制; 反无人机装备; 发展趋势

中图分类号: TJ99 **文献标志码:** A

Current Situation and Development Trend of US Military's UAV Countermeasure Equipment Capability

Cui Qingchun¹, Wang Qiang², Yang Han², Zhou Yu²(1. Hangzhou Zhiyuan Research Institute Co., Ltd., Hangzhou 310000, China;
2. UAV Industry College, Chengdu Aeronautic Polytechnic, Chengdu 610010, China)

Abstract: In order to effectively detect, identify, and counter small unmanned aerial vehicles, this study investigates the current status, development priorities, trends, and paths of the US military's unmanned aerial vehicle countermeasure equipment capabilities. By distinguishing seven categories including comprehensive accusation, target detection, electronic interference, laser strike, microwave strike, network capture, and firepower strike, a systematic and comprehensive analysis was conducted on the current status of the countermeasure equipment capabilities of over 160 types of unmanned aerial vehicles in the US military, and 25 typical representatives were selected for in-depth analysis. Analyze from the perspectives of top-level planning, equipment development, technological exploration, and experimental verification, and propose development insights and suggestions. The results indicate that the suggestion is enlightening and can provide readers with learning and reference.

Keywords: US military; small UAV; UAV countermeasure; UAV countermeasure equipment; developing trends

0 引言

随着无人机的普及化, 无论在军事还是民用领域都面临着日益严重的无人机威胁。无人机反制技术已成为各国关注的重点^[1]。纵观贝卡谷地之战、海湾战争、纳卡冲突、俄乌冲突情况, 无人机逐渐成为低空空域主角^[2]。为解决低空空域控制权夺取问题, 有效应对小型无人机威胁, 美军成体系规划设计, 研制了大量无人机反制装备, 据开源情报统计分析约 160 余型。笔者旨在全面、系统分析这些美军无人机反制装备能力现状, 为我军建设提供参考。

1 美军反无人机装备概述

1.1 无人机反制装备基本概念

目前, 无人机反制领域还没有统一、标准的基本概念, 归纳起来有: 无人机反制、反无人机、无

人机侦测反制、无人机探测反制等, 本文中统称无人机反制。无人机反制是一个复杂的多步骤过程, 涉及多个不同系统之间的交互, 主要包括探测/发现、跟踪/锁定、分类/识别、处置等关键环节, 是一个对无人机进行监测、干扰、诱骗、控制、摧毁的有机整体。无人机反制系统指以无人机为探测反制对象, 能够对其实施探测发现和反制的装备统称。

1.2 无人机反制装备能力定位

根据美军的划分标准, 按照无人机作战能力分为第 1、2、3、4、5 类等级, 其中第 1、2、3 类等级属于小型无人机系统范畴, 其总体质量小于 600 kg (1 320 磅), 美军着重强调对第 1、2、3 类无人机的反制能力, 反小型无人机作战能力。第 4、5 类等级属于大型无人机系统范畴, 主要由传统防空力量担负反制能力。

收稿日期: 2024-09-20; 修回日期: 2024-10-28

第一作者: 崔庆春(1989—), 男, 云南人, 硕士。

1.3 无人机反制装备类型划分

1.3.1 按照系统层级划分

按照系统层级,可划分为:体系级、系统级、分系统级和零部件级4级。无人机反制系统主要由探测预警分系统、识别跟踪分系统、毁伤对抗分系统、指挥控制分系统等组成^[3],这些分系统共同构成系统级反无人机系统,能够独立构建区域立体防控体系;体系级主要指系统级反无人机系统无缝融入防空作战系统,形成一个有机的整体,共同构建分层立体防御体系。分系统级还可进一步划分成部件级或零件级。

1.3.2 按照技术手段划分

根据所用的技术手段,基于探测技术体制不同,可分为雷达探测、光带探测、无线电探测、声学探测等装备^[4];基于反制技术体制不同,可分为干扰、诱骗、激光、微波、声波、网捕、火力等装备^[5]。

1.3.3 按照平台构型划分

按照平台构型划分,可将反无人机装备划分为便携式、固定式、牵引式、机动式、网捕式、机载式和舰载式等,其中便携式、固定式、机动式是最常见的,也是运用最广泛的^[5-8]。

2 美军无人机反制装备能力现状

2.1 综合指控系统能力现状

综合指控系统属于无人机反制系统的神经中枢,一方面融入整个军事作战体系,另一方面负责整个无人机反制行动的组织、协调和指挥^[9]。目前,美军推荐使用的指挥控制系统包括防空系统集成系统(ADSI)、前沿区域防空指挥与控制系统(FAAD—C2)和多域无人系统指挥与控制系统(MEDUSA)。

2.2 目标探测装备能力现状

根据技术体制的不同,无人机目标探测装备可以分为雷达探测装备、光电探测装备、频谱探测装备和声学探测装备^[10]。声学探测装备作用距离有限,实战运用最广泛的仍然是其他3种技术体制装备^[11]。

在雷达探测装备方面,列装有“长颈鹿”系列雷达、AN/TPS系列雷达、多任务半球系列雷达(图1)等系统,最具典型代表的是多任务半球系列雷达(MHR/RPS-42/62/82),对微型无人机探测距离为

5 km,对中型无人机探测距离为25 km,已列装服役。



图1 多任务半球雷达

如图2所示,KuRFS空中监视雷达与Coyote无人机组合,用于硬杀伤无人机。该雷达为Ku波段,是一款多任务、3D、360°雷达,能够兼容多种武器系统,已安装至Howler反无人机系统。



图2 Coyote反无人机系统

在无线电探测装备方面,与国内技术水平差异不大,探测频段覆盖30 MHz~6 GHz,重点频段涵盖800、900 MHz和1.4、2.4、5.8 GHz等,便携式装备探测距离大于等于3 km,固定式装备探测距离大于等于10 km。在单兵级别最具代表性的是Bal Chatri 2手持式无线电探测设备(图3),探测距离3~5 km,质量约1.134 kg,已列入美军反无人机作战手册推荐装备。



图3 Bal Chatri 2无线电探测设备

在远期前沿技术探索方向规划了ADSR先进动态频谱探测系统、TITAN智能反无人机系统和UAVX人工智能反无人机系统,相对技术较为成熟且最具代表的是TITAN智能反无人机系统(图4),有效探测距离3 km,干扰距离1.5 km,能实现全频

段覆盖。



图 4 TITAN 反无人机系统

在光电探测装备方面,利用雷达、无线电探测装备探测发现目标,在引导光电探测装备识别确定目标,是当前无人机探测识别最常规的做法^[12]。可见光技术体制最具代表性的是 Silent Archer 反无人机系统中的光电探测设备(图 5),该设备融合了高清可见光和红外传感器,具备小型无人机探测、识别和跟踪能力。



图 5 Silent Archer 光电探测设备

红外技术体制最具代表性的是 WISP 广域红外探测系统(图 6),该系统提供基于人工智能的被动态、全动态、360°广域高质量成像,配合无线电探测设备,探测距离达 5~16 km,已列装加利福尼亚州爱德华兹空军基地。



图 6 WISP 光电探测设备

2.3 电子干扰装备能力现状

电子干扰已成为反无人机作战最主要方式,美军先后列装了便携式、背包式、固定式、机动式反无人机系统,主要包括 CORIAN、DRAK 等型号装备,基本能够实现全频段干扰,有效应对第 1、2、3 类无人机威胁,是目前技术最成熟的反无人机手

段。便携式最具代表的是 Drone Buster 反无人机系统(图 7),主要用于应对消费级小型无人机威胁,有效干扰距离 400 m,属于市场成熟产品,已列装美陆军。



图 7 Drone Buster 反无人机系统

背包式最具代表的是 DRAKE 反无人机系统(图 8),主要用于海上舰艇反无人机作战场景,能够同时发出高频段和低频段干扰信号,在舰艇周围形成无线电屏蔽,从而拒止无人机进入,有效干扰距 3 km。



图 8 DRAKE 反无人机系统

固定式最具代表的是 FS-LIDS 反无人机系统(图 9),主要由 FAAD-C2 指控系统、AN/TPQ-50 雷达、Ku 波段多功能雷达、电子干扰设备、光电设备、无线通信加密设备和“郊狼 2”及发射装置等组成,具备软硬杀伤手段,能够构建区域立体防护体系。

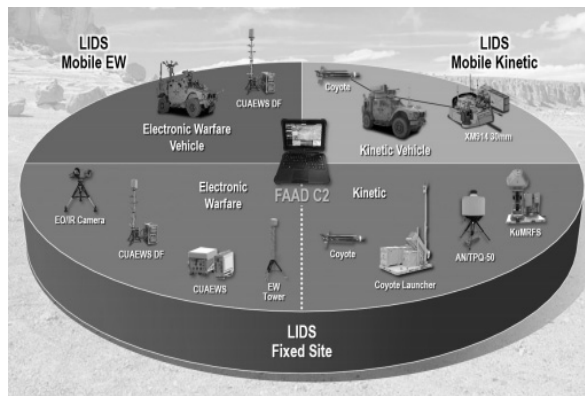


图 9 FS-LIDS 反无人机系统

机动式最具代表的是 M-LIDS(图 10) 移动低慢小无人机综合防御系统, 具备软硬杀伤手段, 可灵活快速部署, 搭载 CUAEWS DF 电子干扰设备干扰距离 3 km, 能够有效应对第 1、2、3 类无人机威胁, 也是美军反小型无人机联合办公室批准推荐使用系统。



图 10 M-LIDS 反无人机系统

2.4 激光打击装备能力现状

激光打击是未来应对无人机“蜂群”攻击最具潜力的技术之一, 主要包括激光告警、激光对光电成像跟踪系统的软杀伤、激光对激光测距仪的软杀伤以及激光对无人机的硬杀伤 4 种形态^[13]。美军已经研制出多款激光武器系统(图 11), 其典型代表主要包括 ATHENA、CLaWS 等型号装备, 涵盖了 2、5、20、50、100、300 kW 等不同量级, 呈现固定式、机动式、舰载式、机载式等不同装备形态。



图 11 MMHEL 激光反无人机系统

2.5 微波打击装备能力现状

微波打击也是未来应对无人机“蜂群”攻击最具潜力的技术之一, 具有作战速度快、攻击范围广、软硬杀伤兼备的优势^[14]。其典型代表主要包括 CHAMP、THOR 等型号装备, 同样面临技术瓶颈、体积庞大、作战半径有限的问题, 轻量化、小型化是未来发展的重要方向。最具典型代表的是 Leonidas 系列高功率微波反无人机系统(图 12), 主要包含牵引式 Leonidas、机动式 Leonidas Mobile 和 Stryker Leonidas、机载式 Leonidas Pod、固定式

Leonidas Sea 等系统, 形成完整的型谱体系, 具备作战能力。

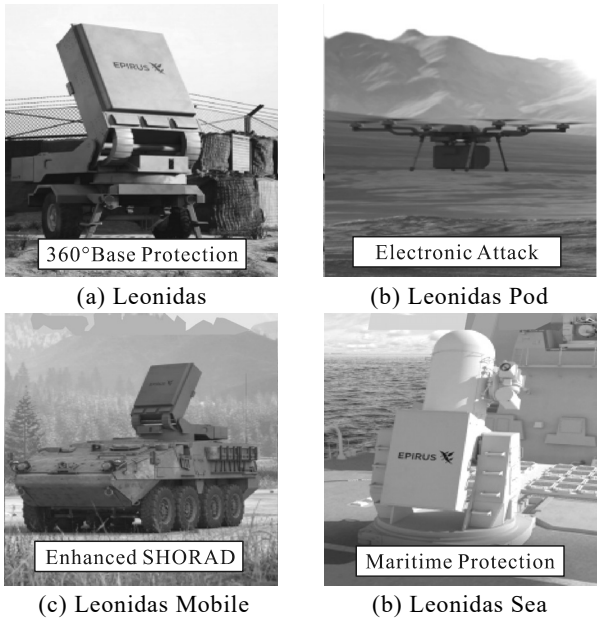


图 12 Leonidas 系列高功率微波反无人机系统

2.6 网式捕捉装备能力现状

网式捕捉也是无人机反制最常用的手段之一, 主要包含便携式、机动式、机载式等不同装备形态, 通过发射网弹的方式来拦截无人机^[15]。目前, 网捕式反无人机系统普遍存在作用距离有限、射击进度不高的问题。美军最具 Drone Hunter F700 反无人机系统(图 13), 网捕设备搭载于旋翼无人机平台, 曾成功捕获无人机 4 500 余次, 支持 FAAD-C2 指挥控制系统, 具有追击、攻击、防御和自主牵引 4 种模式, 可以组网实施无人机反制。

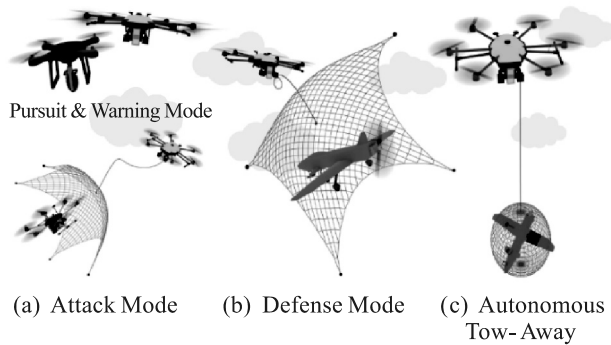


图 13 Drone Hunter F700 反无人机系统

2.7 火力打击装备能力现状

从俄乌冲突不难看出, 火力打击装备仍然是应对无人机威胁最可靠的保底手段, 也是各国发展的一个重点。在单兵班组级别, 最具典型代表的是列装的 Smart Shooter 系列火力瞄准系统, 该系统由 1

台摄像机、1 台激光测距仪、1 台计算机和 1 块电池组成,能够与美军列装的现役步枪快速结合,通过一个 4 倍镜瞄准锁定无人机目标,从而实施打击摧毁,有效作用距离大于等于 250 m。

3 美军无人机反制装备发展趋势及启示建议

3.1 要加强顶层规划设计

要统筹进行顶层规划设计,研究反无人机系统发展战略规划,构建反无人机装备体系,清晰定位不同技术体制反无人机系统使命任务、功能定位、战技性能、作战运用等,区分近期、中期、远期目标,列出反无人机系统发展清单,明确具体落实方案路径,成体系规划建设发展。同时,要提高反无人机系统互联互通互操作性,研究制定指挥控制通用技术标准,实现“即插即用”,确保反无人机系统完全融入军事作战体系。

3.2 要加强装备立项研制

要按照计划突出反无人机装备立项研制,突出融合目标探测识别系统研制,解决小型无人机探测识别难的问题。突出单兵班组级反无人机作战能力,重点开展 Smart Shooter 类型系统研制,提升硬杀伤能力;突出机动式反无人机系统研制,综合集成软硬杀伤手段,提升无人机反制兜底能力;突出创新技术手段探索,研发低成本、重复使用无人机蜂群系统,以群反群将是未来重要发展方向。

3.3 要加强关键技术探索

要突出融合探测技术研究,结合人工智能技术,解决小型无人机探测识别难的问题;要加强激光打击和微波打击关键技术探索,重点解决小型化、轻量化面临的技术瓶颈,加强作战试验验证,不断提升装备性能、环境适应性以及任务适应性。

3.4 要加强作战试验验证

要加强无人机反制装备作战试验验证,在实战化环境中验证无人机反制装备战技指标,评估无人机反制装备作战效能,不断提升装备的环境适应性、任务适应性。针对市场成熟产品,要在实战环境中进行性能比测,真正摸清装备战技性能现状底数,遴选好用、管用、实用的装备供一线作战单元使用。

要依托无人机反制专业人才培养,在实战环境中开展典型无人机威胁形式作战试验,组织典型场景下无人机攻防对抗演练,检验装备作战效能。

4 结论

笔者系统、全面地分析了美军无人机反制装备能力现状,梳理了美军无人机反制装备发展重点、趋势及路径,并提出了启示建议,为读者提供参考。

参考文献:

- [1] 李佳. 低慢小无人机目标红外成像探测关键技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2020.
- [2] 万鹏武. TDOA 被动定位关键技术研究与应用[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2018.
- [3] 陈伟. “低慢小”无人机反制装备与理论探析[J]. 河南科技, 2022(2): 10-13.
- [4] 段儒杰. 基于声音的无人机被动探测方法及系统设计[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2022.
- [5] 温卓漫, 陈长泳, 张雁平, 等. 军用无人机反制技术综[J]. 电子信息对抗技术, 2022, 37(1): 21-26, 40.
- [6] 屈旭涛, 庄东晔, 谢海斌. “低慢小”无人机探测方法[J]. 指挥控制与仿真, 2020, 42(2): 128-135.
- [7] SHAIKH S, KARAKO T, MCLOUGHLIN M. Countering SmallUncrewed Aerial Systems Air Defense by and for the Joint Force[R]. CENTER FOR STRATEGIC & INTERNATIONAL STUDIES, 2023.
- [8] 付鑫, 赵然, 梁延峰, 等. 反无人机蜂群技术发展综述[J]. 中国电子科学研究院学报, 2022, 17(5): 1673-5692.
- [9] 向文豪, 王栋, 刘佳, 等. 无人机反制需求分析与技术谱系[J]. 科技导报, 2020, 38(21): 150-158.
- [10] 李牧, 王文庆. 无人机特点分类与低空威胁分析[J]. 中国安全防范技术与应用, 2019(2): 49-53.
- [11] 张华伟, 刘海鹏, 史春鹏. 反低慢小无人机技术发展研究[J]. 光电技术应用, 2021, 36(3): 7-10.
- [12] 吴静, 蔡海锋, 刘俊良. 纳卡地区冲突无人机攻防运用分析及地空反无人对策建议[J]. 现代防御技术, 2021, 49(3): 13-20.
- [13] 苏润丛, 向文豪, 缪国春, 等. 纳卡冲突中无人机的作战应用与分析[J]. 飞航导弹, 2021(1): 65-70.
- [14] 胡乔林, 焦士俊, 刘剑豪, 等. 反美军无人机蜂群作战问题研究[J]. 飞航导弹, 2021(12): 88-92.
- [15] 薛猛, 周学文, 孔维亮. 反无人机系统研究现状及关键技术分析[J]. 飞航导弹, 2021(5): 52-56, 60.