

DOI: 10.12132/ISSN.1673-5048.2018.0015

一网打尽——无人集群时代的新攻防

刘献伟^{1,2}, 陈虎林¹, 李飞¹, 郭正玉^{1,2}

(1. 中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009; 2. 航空制导武器航空科技重点实验室, 河南 洛阳 471009)

摘 要: 针对智能时代新的无人集群作战样式, 分析了传统精确制导弹药的应对困局, 提出新的网弹应对方案, 给出网弹反制技术的结构组成、制导与控制、关键技术和典型作战场景, 并对其优缺点和更广泛的应用予以描述, 对开展相关研究工作给出了建议。

关键词: 智能时代; 无人集群; 反制技术; 网弹

中图分类号: TJ760; TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-5048(2019)01-0070-06

0 引 言

武器装备的信息化、网络化、智能化催生出了无人集群新战法, 世界各军事强国均出台了自主研发和反制路线图, 无人集群新战法不仅将改变空战的游戏规则, 也给现有的航空兵器带来了全新的威胁和挑战, 智能无人时代的新攻防已然成为当下的军事技术研究热点。从目前的公开资料中可以看出, 美、俄、欧就未来的无人攻防对抗正在全面布局并系统开展大量实质性的工程项目验证研究, 有些技术方案颇具前瞻性和颠覆性, 必须引起高度重视。本文尝试对无人集群式新战法的威胁和反制特点进行描述, 在前期情报分析和专利研究的基础上着重对飞网反制技术进行剖析, 力图给出较为完整的网弹反制方案。

1 无人集群战法概述

早在 2000 年, DARPA 就曾借鉴蚂蚁信息素交互行为, 开展过无人机集群的空战仿真研究, 最近几年美军的集群项目包括 2014 年 4 月美国海军研究局发起的低成本无人机集群技术(LOCUST)项目, 2015 年 9 月 DARPA 发布的小精灵(Gremlins)项目, 2016 年美国空军发布的首份小型无人机系

统(SUAS)发展路线图, 美国国防部战略能力办公室与空军联合开展的微型无人机高速发射演示项目, 美国空军研究实验室(AFRL)提出的“忠诚僚机”项目, 美国海军研究办公室(ONR)提出的“低成本无人机集群技术”项目, 与之配套的支撑项目包括 DARPA 的拒止环境下协同作战(CODE)项目, DARPA 的集群挑战(Swarm Challenge)计划, DARPA 的分布式作战管理(DBM)项目等^[1]。

无人集群战法是由运载飞行器将众多的小型无人机运抵战区释放, 这些“蜂群”无人机基本采用价格低廉的模块化结构, 可以快速进行战时补损, 各单元之间通过信息网络智能组网, 分别携带侦察、感知、干扰、压制、攻击、反辐射、电子病毒等有效载荷以遂行不同的作战任务, 甚至可以进行回收。随着人工智能技术的突破和应用, 无人“蜂群”具有了一定的自主感知和态势判断能力, 可以采用无人-有人协同或机-机自主协同方式执行压制/摧毁、侦察/打击、探测/分享、干扰/支援等对陆、对空多项作战任务。其作战示意图如图 1 所示。

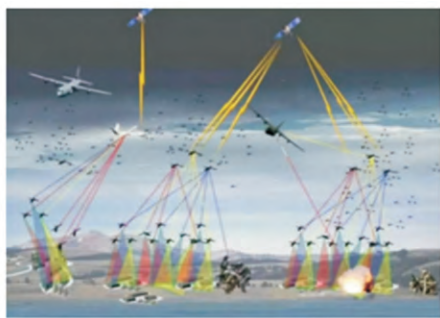
无人集群以网间通信为基础, 各个单元之间可以实时共享数据, 对单元的增减和实时战损表现出巨大的弹性和包容性, 这种智能分布式的特

收稿日期: 2018-10-18

作者简介: 刘献伟(1970-), 男, 河南洛阳人, 研究员, 研究方向为导弹总体设计。

引用格式: 刘献伟, 陈虎林, 李飞, 等. 一网打尽——无人集群时代的新攻防[J]. 航空兵器, 2019, 26(1): 70-75.

Liu Xianwei, Chen Hulin, Li Fei, et al. Catch All in Nets: New Attack and Defense in the Age of Unmanned Cluster[J]. Aero Weaponry, 2019, 26(1): 70-75. (in Chinese)

图1 无人集群攻防示意图^[2]Fig. 1 Attack and defense diagram of unmanned cluster^[2]

点使其不仅可以很好地完成既定的指令任务,也可以在复杂的环境中自主完成攻击规划。其主要作战特点包括:因其数量众多集群分布而实现的动态聚能以量取胜优势;采用网间智能链路技术实现的分布式探测与攻击能力;成本低廉带来的非对称效益;高抗毁伤性形成的饱和攻击和多次打击能力;有人-无人协同组合带来的灵活机动战法多样等^[1]。

2 传统精确制导武器的应对困境

2.1 耗不起

集群式无人机具有显著的小型化和低成本的特点。美军甚至有将增材制造技术配发于班排级应用在战时补损的提案和探索,战时仅需配置必要的关键航材器件,在基本的作战单位就可以完成无人弹药的准备、测试、放飞和补损,其相对简单的产品构成也使得模块化工业量产成为可能。为了应对这样极低成本的小型目标,如果使用传统精准制导的地空导弹、空空导弹等高价值武器,其效果无异于“高射炮打蚊子”,无论是装备数量还是经济成本都将难以承受。

2.2 看不见

集群式无人机是典型的低空慢速小目标(“低小慢”),其红外和雷达辐射特征极低,并且大量采用红外隐身和雷达隐身技术,对低小慢类目标的探测和跟踪需要依靠多种模式各种类别传感器所构成的信息网络体系,相对小功率和模式单一的弹载传感器在低小慢目标面前就显得力不从心。

依靠强大的地基、空基、天基传感器所构成的探测跟踪网络来获取目标信息,聚焦于拦截和毁伤等执行功能是攻击低小慢类目标的弹药需要重点研究的课题。

2.3 探不到

传统精确制导弹药受限于其制导精度和杀伤

半径(10 m量级),必须采用引战配合来精确探知弹目的交会情况进而实施精准打击,无人集群目标的小体积特征无疑极大地增加了引信系统的感知难度,给引信系统的适应性设计带来了极大的挑战。

2.4 打不着

无人集群目标的小尺寸特征同样给传统精确制导弹药的毁伤效果带来极大困扰,由于其型体和传统攻击目标相比存在量级上的变化,杆条式或破片式杀伤单元几乎不能对其造成有效的毁伤。

3 反制技术发展

目前,无人集群战法的攻防对抗是各国军事技术研究的一个热点。国内外也有大量的技术文章见诸报端^[3-5]。自2002年以来,美国国防情报局每年都要秘密地进行1次名为“黑色飞镖”的反无人机试验^[6],国内也在2018年举办了“无人争锋”智能无人机集群系统挑战赛和“无形截击-2018”反无人机挑战赛。综合来看,目前的无人机反制技术一般分为软杀伤和硬杀伤两种,基本的反制方案包括链路控制类和干扰阻断类。一是通过阻断或改变链路传输代码实现对无人机的反控制,或者通过定向大功率微波干扰、声波干扰等以切断无人机控制指令和定位信息,迫使其自降;二是物理杀伤直接摧毁类,主要是利用导弹、激光武器、微波武器、格斗型无人机以及常规火力、生物拦截方式等手段直接对来犯无人机实施物理摧毁^[3]。

4 网弹拦截方案

对传统精确制导弹药而言,制导侧或者杀伤侧的变化都会给武器的综合性能带来巨大影响,制导精度的极致提高将使得动能碰撞杀伤模式成为可能,但无疑会带来成本和研发难度的急剧增加;杀伤半径的革命性扩增则可大大降低对于制导精度和引战精度的需求,甚至可以仅仅借助于链路指令来实现弹目交会而抛弃原有的传感器和引战探测,进而在保持毁伤效能基本不变的条件下实现低成本化。在全新的无人集群攻防对抗方面,后者显然是一个值得大力研究的防御方向和反制策略。其综合效能演变如图2所示。

采用“网幕”型拦截方式作为大范围的面杀伤单元是一种现实可行的技术路线。“网幕”型武器启动后,可在较大的空间内分散形成网幕状的拦

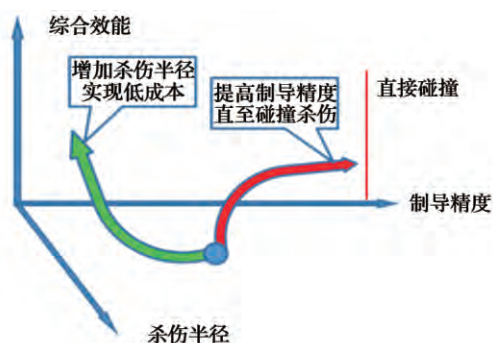


图 2 综合效能演变示意图

Fig. 2 Evolution of comprehensive efficiency

截结构,其影响半径将是传统精确制导武器高爆战斗部杀伤半径的 10 倍,大大降低对于制导精度和引战探测精度的要求,甚至可以抛弃导引头和引信组件,直接采用体系链路指令作为制导信息来源,亦可通过加装定位元件和双向链路实现弹道规划,从而大大降低产品成本,并成功规避“耗不起、看不见、探不到、打不着”的风险,为反制集群无人目标提供可行的技术方案。

几年前,美国 DARPA 曾评估过一种小型空中防御概念武器,其泡沫或网罩从管型发射装置中喷射而出,网罩由导电碳纤维编制而成,能够使无人机的通讯系统失灵,泡沫可将无人飞行器包裹,从而导致无人飞行器失灵坠落。俄罗斯的 Sky Wall 100 小型无人机拦截系统也属于这一类武器,其作用范围为 100 m,由肩扛式发射筒和拦截网罩、降落伞组成,拦截网利用压缩气体驱动发射后在空中形成大覆盖面,包裹目标无人机使其失去动力,并利用降落伞使其着陆^[3]。

国内航天长峰公司的“天网一号”为车载四连装平台,战斗部为直径 3 m 的高密度飞网,采用无烟小当量火药发射,射程 400 m,适合在城市环境中使用^[3,7],其产品外形如图 3 所示。

图 3 “天网一号”系统示意图^[7]Fig. 3 Schematic diagram of “Tianwang No. 1” system^[7]

另一种网捕方式为悬挂拦截网方案,法国、日本和韩国均开展过类似研究,即使用较大无人机挂网的坚韧网格来破坏入侵无人机的螺旋桨^[3,7],

如图 4 所示。

尽管上述研究方向偏重于城市警用级别的安保反恐,但其采用“网幕”作为毁伤拦截单元的思路却和反制无人集群时低成本大范围杀伤的需求高度契合,如果将“网幕”方案提高至战术导弹级别,即将传统制导弹药和“网幕”毁伤方案结合,采用“网弹”作为应对无人集群目标的一种形式,则无疑将在反制技术方面获得极大的丰富和完善。



图 4 法国的无人机挂网拦截试验

Fig. 4 French UAV net interception test

4.1 网弹组成

网弹由卫星定位、飞行控制组件、飞网、发动机、舵机、双向数据链等组成。卫星天线放置在头部的透波陶瓷减阻整流罩内,数据链天线设置在弹体尾部实现双向通信。其结构组成如图 5 所示。



图 5 网弹结构组成

Fig. 5 Composition of net-missile structure

和传统精确制导导弹相比,网弹不含导引头、高精度惯测、引信、安保机构和高爆战斗部等,其大部分弹体都用来容纳飞网,以期获得尽可能大范围的空间网幕效果。由于不再包含上述价格成本占比极高的昂贵组件,网弹的成本价格可以大幅降低,可靠性大幅提高,和传统精确制导弹药高低搭配,进而解决“耗得起”的问题。

4.2 制导与控制

网弹的核心优势在于其可以实现大范围的空间网幕毁伤,因此大大降低了对于制导精度和引信探测精度的压力,仅仅通过体系链路指令所获得的制导信息就已经可以满足控制飞行和交会攻击的需求,依靠体系强大传感器的探测能力去发现和识别目标,解决了“看不见、探不到”的难题。同时,网弹可以通过简易惯测 + 卫星定位组合实现自身空间位置和姿态的解算,并通过双向数据链回传自身信息给体系网络云端,从而实现弹目相对位置和运动关系的实时获取,依靠特定的制

导率毁伤目标。网弹的制导与控制原理框图如图 6 所示。

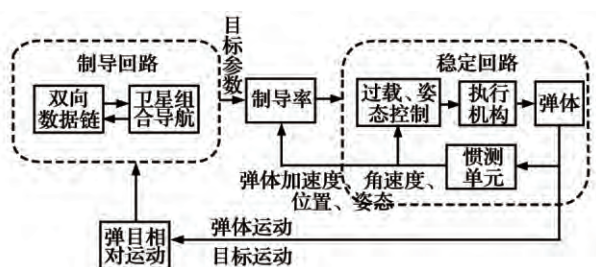


图 6 制导控制原理框图

Fig. 6 Guidance control principle

4.3 飞网杀伤效能

网舱由壳体、抛离口盖、引导伞、飞网、爆炸螺栓、切割器等组成。在交会阶段启动后,爆炸螺栓起爆,抛离口盖将引导伞拉出,具有飞翼截面的引导伞在导弹末速的动能牵引下产生升力,迅速将飞网展开,从而形成一个巨大的网状结构。飞网展开过程如图 7 所示。

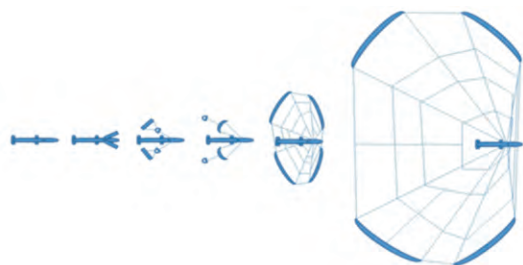


图 7 飞网展开示意图

Fig. 7 Fly net expansion process

和前文所述“网捕”类型的抛网方案不同,网弹采用类似“风筝”的拉升方案,其飞网和弹体结构始终固连,弹体飞行末速所提供的动能就是飞网展开的原动力。

飞网采用超高强度、超高弹性、超强吸能的复合纤维束编制而成,随弹体旋转飞行过程中形成一条大范围的“密不透风”的拦截和清理走廊,从而解决“打不着”的难题。目标触网后,和飞网固连的弹体和引导装置将发生无规则的混乱运动,对目标进行缠绕、碰撞,产生气动阻力,破坏其机体,严重影响其操控性并产生阻力,使其无法实现正常飞行进而自行坠毁。飞网对目标的拦截毁伤仿真效果如图 8 所示。

传统精确制导弹药依靠战斗部爆炸后的爆轰波和高速飞散的破片杆条的动能实现对目标的杀伤,由于无法实现弹目碰撞,导弹自身的飞行动能对目标的毁伤基本没有贡献,这毫无疑问是一个

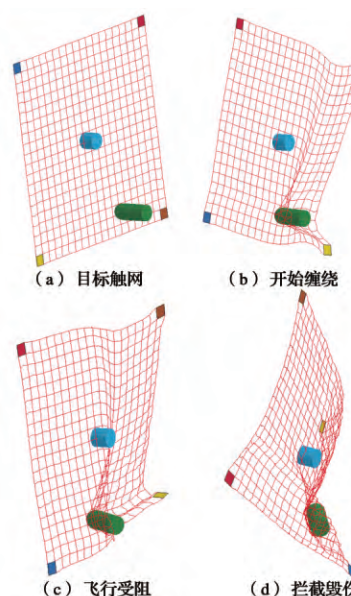


图 8 飞网毁伤仿真动画演示

Fig. 8 Simulation animation demonstration of fly net damage

巨大的浪费。而网弹的毁伤模式本质上是一种动能拦截技术,只是将导弹飞行动能在空间上进行了均匀分布和连续延展,进而规避了碰撞杀伤所需的极高制导精度。飞网牵一发而动全身,在对触网物体的拦截中,弹体飞行动能的利用率可达到 100%,毁伤效能极高。

飞网式战斗部及其拦截毁伤效果具有最广泛的移植性和优良的适应性,被飞网缠绕、撞击和增加气动阻力对任何飞行器而言都是噩梦般的存在。飞网式战斗部可以方便地实现炮射、空射和地面发射等,并充分利用其自身的双向链路高度融合于体系信息网络中,从而在体系的统一调配下最大限度地发挥网弹的杀伤效能。

另外,敌舰屡屡闯入我国 12 海里领海的热点事件对国家荣誉造成严重伤害,构建切实有效的软杀伤威慑手段迫在眉睫,网弹所研究的超高强度、超高弹性飞网,显然是舰艇螺旋桨推进器的天然克星。

5 典型应用场景

智能无人集群时代的对抗一定是体系-体系的对抗,攻防双方均是基于目标单元来分布协同智能配置火力单元,这是一个将探测-识别-跟踪-毁伤任务高度分工合作化的复杂战场环境。图 9 显示了典型的反制无人集群目标的作战场景。当体系搜索传感器(地基、空基和天基雷达)探测和识别到来袭目标后,体系指挥系统发出跟踪制

导指令;目标截获后,在体系指挥系统的统一调配下,各火力单元开机;网弹发射后,通过双向数据链接受体系指令发出的目标信息和制导控制命令,并将自身的位置和相关信息回传,在接力指令的协同引导下与目标交会;最终启动飞网拦截杀伤目标。在上述作战体系中,廉价的网弹可以作为主要的火力单元进行大量的发射以执行拦截任务,并和其他激光武器、微波武器、以及精确制导高价值弹药协同配合,完成对无人集群目标的反制作战。

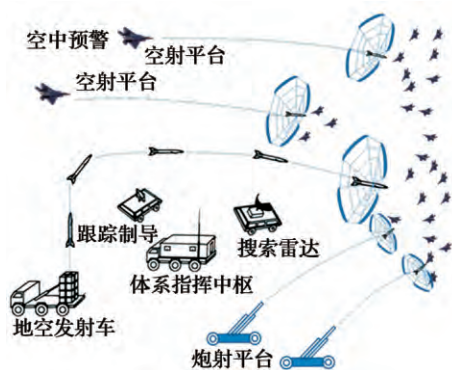


图9 典型应用场景

Fig. 9 Typical application scenarios

6 关键技术

为了承受目标的高速冲击,飞网需要创新研制高强高弹的新型复合纤维材料或者特殊的结构设计和运动方式,同时,飞网的形状、网格布局、展开、旋转与缠绕的模式、评估与验证技术等都需要进行全新的研究。

另一方面,网弹高度依赖于体系传感器具备的强大探测和信息获取能力,要求系统能够对目标轨迹进行快速计算和预测,准确计算攻击弹道和展开时间,同时,网弹高度依赖于数据链路以融入体系来实现集群协同作战,这是全新的交会模式和协同配合策略,需要进行深入研究。

7 优缺点

丰富体系:将飞网杀伤技术应用于战术导弹,引入新的空战模式,和激光武器、微波武器、精确制导弹药等高低搭配,互补兼顾,极大地丰富和完善了作战体系。

新型杀伤:杀伤半径大,滞空时间长,充分利用弹体动能,可以保持长时间、长距离的杀伤走廊,大幅度提高拦截和净空效能。

成本低廉:不含导引头、引信系统和高爆战斗

部,成本大幅降低。

抗干扰:天然具有优良的抗干扰性能,依靠地面强大的信息网络,形成相对封闭的制导控制系统,对各种复杂电磁环境和红外干扰具有天然优良的适应能力;对拖曳式干扰具有天然的杀伤作用。

模块化适配:飞网式战斗部采用标准模块化接口,具有广泛的移植性和适应性。

安全可靠:只有在高速气动力作用下方可展开,确保了地面勤务处理的安全性;构成简单,工作可靠,可以大幅减少产品使用过程中的质量问题。

由于没有包含自主导引系统,网弹不再具备自主寻的功能,必须完全依靠信息网络和通信链路来执行任务,这就限制了网弹只能在信息网络覆盖的区域使用,并且对信息传输和链路对接的安全性和抗干扰性存在着较高的要求和依赖。

8 结束语

攻与防是一对永恒演变的矛盾,集成与分工也需因时而变,在即将到来的智能新时代,无人集群作战和无人机反制作战都将是未来战场的重要作战型式,传统高度集成和单一平台的精确制导弹药必然要因应巨变,开启一场全新的革命。网弹是构建反无人机技术体系和反无人机武器装备发展的必然,其提供了一种新的反制方案,应尽快对其展开研究,突破关键技术,从理论上和技术上对其进行设计评估和试验验证,并完成体系作战的系统研究和技术储备。这些工作都将为未来的应用打下良好基础。

参考文献:

- [1] 王虎,邓大松. 集群式无人机能力分析及其防御对策研究[J]. 飞航导弹, 2017(4): 15-20.
Wang Hu, Deng Dasong. Capability Analysis of Group UAV and Its Defense Countermeasures [J]. Aerodynamic Missile Journal, 2017(4): 15-20. (in Chinese)
- [2] 张昊. 无人机蜂群作战概念研究[EB/OL]. (2018-07-09) [2018-10-18]. https://mp.weixin.qq.com/s/4q0QyzUeAajF_b35T0V6_g.
Zhang Hao. Research on the Concept of Unmanned Aerial Vehicle Swarm [EB/OL]. (2018-07-09) [2018-10-18]. https://mp.weixin.qq.com/s/4q0QyzUeAajF_b35T0V6_g. (in Chinese)
- [3] 罗斌,黄宇超,周昊. 国外反无人机系统发展现状综述[J]. 飞航导弹, 2017(9): 24-28.

- Luo Bin ,Huang Yuchao ,Zhou Hao. Review on Development of Counter UAV System [J]. Aerodynamic Missile Journal ,2017(9) : 24 – 28. (in Chinese)
- [4] 刘丽,魏雁飞,张宇涵. 美军反无人机技术装备发展解析[J]. 航天电子对抗,2017,33(1): 61 – 64.
Liu Li ,Wei Yanfei ,Zhang Yuhan. The Development of Anti-UAV Technical Equipment of the U. S. Armed Forces [J]. Aerospace Electronic Warfare ,2017 ,33(1) : 61 – 64. (in Chinese)
- [5] 夏铭禹,赵凯,倪威. 要地防空反无人机系统及其关键技术[J]. 指挥控制与仿真,2018,40(2): 55 – 60.
Xia Mingyu ,Zhao Kai ,Ni Wei. Anti-UAV System and Key Technology for Key Point Defense [J]. Command Control & Simulation ,2018 ,40(2) : 55 – 60. (in Chinese)
- [6] 蔡亚梅,姜宇航,赵霜. 国外反无人机系统发展动态与趋势分析[J]. 航天电子对抗,2017,33(2): 59 – 64.
Cai Yamei ,Jiang Yuhang ,Zhao Shuang. Development Status and Trend Analysis of Counter UAV Systems [J]. Aerospace Electronic Warfare ,2017 ,33(2) : 59 – 64. (in Chinese)
- [7] 刘超峰. 反微型无人机技术方案调研[J]. 现代防御技术,2017,45(4): 17 – 22.
Liu Chaofeng. Investigation on the Latest Technology Solutions of Anti-MAV [J]. Modern Defense Technology ,2017 ,45(4) : 17 – 22. (in Chinese)

Catch All in Nets: New Attack and Defense in the Age of Unmanned Cluster

Liu Xianwei^{1,2} ,Chen Hulin¹ ,Li Fei¹ ,Guo Zhengyu^{1,2}

(1. China Airborne Missile Academy ,Luoyang 471009 ,China;

2. Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Airborne Guided Weapons ,Luoyang 471009 ,China)

Abstract: The rapid growth of the unmanned aerial vehicle(UAV) clusters in age of intelligence bring new threats to the traditional precision guided munitions(PGM) . The new technological solutions of anti-UAV is investigated and analyzed in this article. The characteristics of net-missile ,including architecture ,guidance and control ,key technologies and typical combat scenarios ,are analyzed. And the advantages and more widely application are introduced. Suggestions are provided for the related research work.

Key words: intelligence age; UAV clusters; anti-UAV technology; net-missile