

[引用格式] 金泉, 高显忠, 郭正, 等. 无人机集群在机场封控作战中的应用研究[J]. 飞航导弹, 2021(10): 52-58.

无人机集群在机场封控作战中的应用研究

金 泉, 高显忠, 郭 正, 侯中喜

(国防科技大学, 长沙 410073)

摘 要: 针对机场封控作战任务中现有封控手段成功率低、费效比高、封控时间短等问题, 研究无人机集群在封控作战中的应用。分析了现有封控方法的局限性, 并结合机场封控作战任务特点和无人机集群技术特点, 总结了无人机集群在机场封控作战中的优势, 构想无人机集群作战阶段以及担负的作战任务, 指出实现作战的关键技术。研究认为, 无人机集群在机场封控作战中应用潜力大, 深入研究其作战特点和运用样式具有重要意义。

关键词: 无人机集群; 机场封控; 区域封锁

中图分类号: V279

文献标识码: A

文章编号: 1009-1319(2021)10-52-07

DOI: 10.16338/j.issn.1009-1319.20210120

引 言

在现代战争中, 机场不仅是保障飞机起降的平台, 更是一座综合军事基地, 战时可以快速完成兵力的机动投送, 为一线部队运送保障物资和执行飞机中转补给等任务, 特别是处在战略要地的前沿军用机场。高技术条件下的局部战争, 战机稍纵即逝, 空中力量的快速出动可获得极大的战场优势。也正因此, 机场阵地一直是战争中双方重点打击目标。

2017 年 4 月, 美军通过驱逐舰发射数十枚战斧巡航导弹袭击了叙利亚空军基地, 毁伤大量机库和机场设施^[1]。2020 年初, 伊朗发射弹道导弹对驻伊拉克美军基地发动报复打击^[2], 精确命中美军空军基地多处机棚和机场设施。

战争中, 迅速高效封控敌方机场使其飞机无法起降执行任务, 可获得极大的战场制空优势, 对取得战争的胜利起着重要作用^[3]。机场封控作战的目的是在一段时间内破坏敌方机场运行环境以阻止敌航空兵执行空中作战任务。区别于其他空袭作战行动, 机场封控有很强的时间概念, 即

并不是对空间目标的一次性打击, 而是在考虑对方修复能力影响下保证封控持续时间要求的对抗过程。由于机场的重要性, 各国不断提升机场阵地的防御能力和生存能力, 如美军致力于扩大其海外机场的规模和部署能力^[4], 甚至建造新的机场^[5], 以应对对手中远程火力的集中打击。现有封控手段的局限性愈加凸显。近年来, 无人机集群作为一种新质作战力量, 正推动未来空袭作战展现新的形态, 其以数量优势提高突防成功率、低成本降低费效比、长续航提升封锁时间等特点, 为机场封控作战提供了新思路。

1 现有机场封控手段的局限性

机场封控具体作战目标可以是毁伤敌方停放在机场的飞机, 使其航空兵无法起飞作战; 或是轰炸破坏机场跑道使敌机无法滑跑起飞或降落; 或是干扰甚至瘫痪其指挥作战和保障系统, 阻滞敌方作战行动。目前主要的机场封控作战手段是通过远程导弹或载人航空兵对机场目标进行空袭破坏, 投放集束炸弹毁坏跑道。集束炸弹又称子

收稿日期: 2021-06-25

作者简介: 金泉, 助理工程师, 主要研究方向为智能集群技术。

通讯作者: 高显忠, 副研究员, 主要研究方向为先进飞行器设计与智能集群技术。

母弹, 特点是利用其数量特性增加杀伤范围。通过布撒器投放子母弹, 可将反跑道子弹药与区域封锁型子弹药合理布撒在跑道区域^[6], 对机场跑道进行联合封锁^[7]。其中反跑道子弹药一般为侵爆战斗部, 可侵入机场跑道一定深度起爆, 形成大量弹坑以阻止飞机滑跑。区域封锁型子弹药一般为杀伤战斗部, 抛撒在弹坑附近, 阻止及延缓机场工作人员修复跑道。也有学者研究使用无人机平台投放子母弹封锁跑道^[8], 向跑道投放润滑油影响飞机滑行^[9]等封控手段, 不断拓展、优化机场封控效能。

为提升机场阵地的战场生存能力, 各国部队在机场修建了大量的防护工程、伪装工事和备用跑道, 在机场派驻工兵部队以便战争中随炸随修, 同时极大增强了机场预警探测和防空反导能力。通过调查分析发现, 现有封控手段有着不可忽视的局限性, 主要体现在以下几点。

一是打不到, 打击力量突防困难。机场作为交战双方重要的保护阵地, 大多处于先进的预警探测和防空反导系统保护范围内, 布置有大量防空力量。2020年, 美国印太司令部向国会提交报告建议在关岛部署陆基宙斯盾系统, 构建360°一体化防空反导能力。2020年11月, 美国在韩国部署了增强型联合战术地面站(JTAGS), 提升美军在印太地区的战场态势感知和反导能力。目前, 美、俄均已启动高超声速拦截技术的研发, 日本和以色列将进一步强化与美国的军事合作, 提升本国导弹防御系统的建设^[10]。未来战争进攻方的战机和导弹想要成功突破其他国家先进的预警探测和防空体系会非常困难。

二是瞄不准, 精确打击难度大。机场区域范

围大, 战机等高价值目标相对分散且隐蔽, 战时目标机动和伪装会大大降低精确打击效果。美军提出敏捷战斗部署概念^[11], 要求部署在大型空军基地的机群, 在战时能够向美国及盟友的军用或民用机场迅速转场疏散, 以规避对手中远程火力的集中打击。若选择攻击跑道, 机场跑道长达数公里, 实现封锁需要将其毁伤分割成数段, 使整个跑道上不存在满足飞机起降滑行的最小区域(即最小起降窗口)。打击弹药数量有限, 因此对布撒位置精度有要求。远程打击对进攻武器的制导精度提出了高要求, 针对来袭导弹末制导诱骗干扰技术增加了精确打击难度。

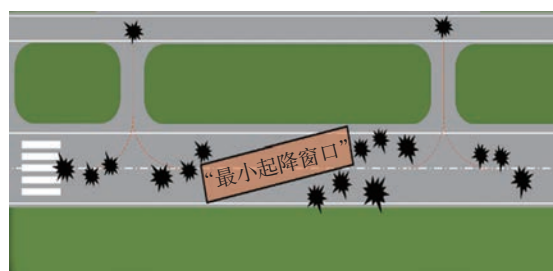


图2 机场跑道最小起降窗口示意图

三是封不久, 封锁时间短。随着跑道快速修复技术的快速发展, 包括抢修流程、设备、材料的进步使得修复跑道速度越来越快。在战时进行机场跑道抢修抢建时, 只需要在尽可能短的时间内修复一块满足应急性能水平的最小起降窗口区域即可。跑道修复防爆车、反跑道封锁弹药、排雷机器人等新装备不断投入, 区域封锁型子弹药阻止维修的效能降低。

四是耗不起, 效费比低。使用成本高昂的弹道导弹等“高、精、尖”武器对敌方机场发动突



图1 美国在韩国部署增强型联合战术地面站



图3 美国工程兵快速修复机场跑道演练

袭可以在早期一定程度上取得收效,但还不足以达成封控甚至摧毁敌方机场的目的。想要确保作战效能,需要多批次饱和打击,这将耗费大量导弹库存,成本高昂。若飞行员驾驶战机突防轰炸,面对现代战场防控体系,参战人员有很大的伤亡威胁。美军曾提出睡莲计划,通过改造老旧基地、重启遗留基地、谋求与盟友建立合作安全点等形式,打造“少量永久性大型基地+大量临时性前沿小型基地”的基地群。因此,面对数量众多的潜在机场目标,想要成功封控所有机场的导弹耗费量过高。

另外,集束炸弹作为目前最有效的反跑道武器之一,却一直受到国际上大部分国家的抵制。2017年《集束弹药公约》缔约国数量已增至120个^[12],虽然美、俄等国家并未缔约,但集束弹药的使用仍可能遭到国际谴责。

通过分析机场封控作战的特点和现有手段的局限性发现,传统的机场封控手段已不足以应对现代作战概念,亟需一种经济性能好、封控效果优、可灵活运用新型作战手段。

2 无人机集群在机场封控作战中的优势

俄罗斯军事学专家米哈伊洛夫认为^[13],2025—2030年左右,美军将在多域战框架下,通过综合使用载人航空兵、无人航空兵及多种导弹系统实现一体化密集空袭作战构想,其中无人机突击梯队将成为重要组成部分,其担负的重要任务之一就是机场封控。无人机突击梯队可编成700余架无人机,包括多用途攻击无人机(60%~70%)、歼击无人机(20%~30%)及侦察和电子战无人机(10%),负责压制敌雷达系统和防空导弹系统,消灭位于地面的航空兵,破坏指挥和通信系统,确保为载人航空兵执行任务创造必要条件。

可以构想未来战场上,执行任务的无人机集群首先由远程快速运载平台运送至敌机场阵地防区外,经投放完成编队后低空飞行,多方位隐蔽突袭进入机场净空区。然后大量攻击型无人机从多方位同时饱和攻击以摧毁敌防空火力目标,同时携带小型子母弹的攻击无人机炸毁跑道,使敌

机无法起降。侦察无人机持续对机场全覆盖搜索监视,大量攻击型无人机盘旋在机场上空,发现敌方战机、车辆或参战人员即打击,阻止敌人修复跑道,达到封控目的。

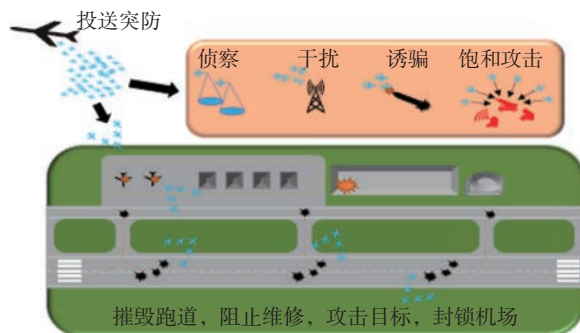


图4 无人机集群机场封控作战构想

具体来讲,无人机集群在机场封控作战中有如下优势。

(1) 隐蔽性强,机场探测设备难以及时发现。

无人机体型小,可低空飞行,可低速飞行,是典型的“低、慢、小”目标,探测难度大。当前的典型探测技术有主动雷达、光电、无线电侦测、声学、多照射源被动雷达探测等,存在探测距离限制、低空探测盲区、部署不够灵活等问题。“低、慢、小”目标的快速发现与精确识别一直是世界性难题。所以无人机集群低空低速突防时,具有隐蔽性强,难以及时发现的优势,突防能力强。

(2) 作战样式新,机场防空难以有效对抗。

作为近年来刚崭露头角的新型作战样式,现有的防空系统还难以对无人机集群构成十分有效的威胁。目前,对抗无人机集群的常规手段主要是软杀伤和硬摧毁。软杀伤主要依靠电子干扰设备切断无人机指控链路,但随着无人机自主能力的提高,电子干扰难以收到较好效果。硬摧毁使用高射炮、导弹、速射炮等武器,由于命中率和效费比的原因,高射炮和地空导弹都难以对集群进行有效杀伤,依靠近程防空速射武器应对数量有限的无人机群尚可,面对数量庞大、多方向侵袭的无人机集群,仍难以做到大规模反制。

美国海军研究生院仿真计算表明^[14],由8架

无人机集群攻击当今世界上最先进的宙斯盾防空系统,至少有 2.8 架无人机能避开拦截,即使系统升级也至少有 1 架无人机可突防成功。

(3) 成本低,效费比高。

无人机结构简单,制造工艺成熟,进行大批量、标准化、模块化生产后,单架成本更加低廉,与防空导弹、高价值有人机等相比,具有极高的性价比。另外,无人机集群隐蔽性强,不易发现,可能致敌消耗大量火力对抗,即使作战中无人机出现毁损,其造成的经济损失相较于其他大型高新技术装备也微不足道,也远低于敌方防空武器消耗价值,效费比高。用集群无人机低成本的优势和敌打消耗战,消耗其有限的对空导弹和雷达信道资源,可营造有利态势,提高己方作战成功概率。

(4) 作战运行灵活,体系稳定。

无人机可采用模块化设计,根据任务需要搭载不同功能载荷,作战运用更加灵活,可有效克服个体能力不足的短板,不仅能够交互协作执行机场侦察、监视、评估、信号中继等保障支援任务,还能够分散部署多方位同时进攻突破敌方机场防空体系,集中火力直接打击目标,也可以干扰、削减敌方雷达探测效果,压制敌方防空火力,为我方远程火力打击、有人驾驶飞机实施空袭创造条件,极大提高了战术灵活性。

无人机集群将作战能力分布在数量庞大的无人机单元上,单个无人机对体系的敏感度大大降低,损失任何一架无人机,都不会导致集群整体失能,战时可根据实际情况随时加入新的无人机来补充消耗的无人机单元,体系稳定度得到极大保证。

将无人机集群装备技术应用在机场封控作战中,具有可行性和优势,区别于“高、精、尖”武器系统,是对现有封控手段的补充完善,有利于提高封控效能。

3 无人机集群在机场封控作战中担负的任务

根据机场封控作战特点和无人机集群作战的优势,下面提出一种典型作战任务构想,作战任

务过程分为四个阶段。

(1) 侦察干扰阶段:大量低成本诱饵无人机多方向抵近机场,诱使敌方火力打击,消耗敌方弹药;干扰无人机携带伪装载荷诱骗敌方防空雷达开机,电子战无人机对机场电磁环境进行压制;侦察无人机查明敌方防空阵地和重点目标方位等信息,将战场信息实时回传指挥中心。

(2) 攻击阶段:在侦察无人机引导和诱饵无人机掩护下,攻击型无人机利用数量优势多方位对查明目标进行打击,协同防区外巡航导弹等武器对敌方高价值目标或强防护目标进行打击。同时携带反跑道炸弹的无人机轰炸机场跑道。

(3) 封锁阶段:监视无人机对机场区域进行搜索,大量干扰无人机在机场跑道上空盘旋。发现敌方目标即引导攻击型无人机进行打击,阻止敌方工兵抢修跑道。

(4) 回收轮战阶段:指挥中心评估无人机消耗量,以及剩余无人机续航时间,合理补充无人机数量保证持续封锁目的,将续航不足的无人机进行回收。无法回收的一次性无人机能量耗尽前启动自毁装置撞击机场建筑、设施、跑道,给敌不断精神心理压力。

无人机集群根据战场环境和实际任务需求,可担任以下任务。

(1) 担负侦察、监视、评估、探测等支援保障任务。

机场面积大,飞机掩蔽库、弹药库、指挥所等重要部位和防空系统分布隐蔽且分散,加之战时机动和伪装作业,将降低我方侦察效能。

由大量隐身性能好、成本低、搭配携带多种类型侦察载荷(如光电相机、红外成像设备、合成孔径雷达等)的无人机分布在机场任务空域,担负低空抵近侦察任务,将战场信息实时传回后方指挥系统,由于无人机续航时间长,数量多、侦察覆盖范围广,可实现重点区域持续性覆盖监视。发现目标后引导其他打击单元实施精确打击。

除了侦察监视,无人机集群还可以执行战斗效果评估、通信中继等支援保障任务。

(2) 担负多样攻击任务。

机场目标组成要素多,除跑道外,还有建筑

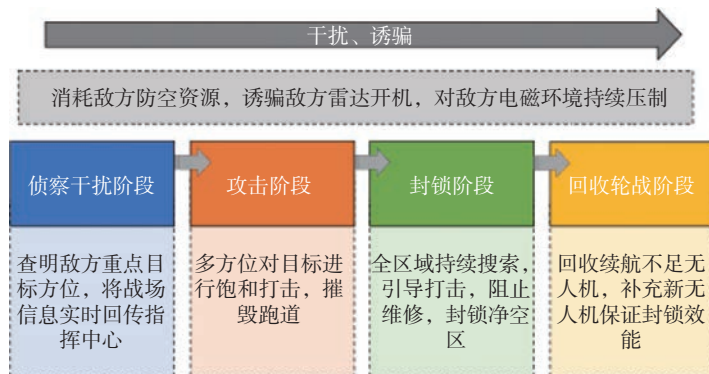


图5 无人机集群机场封控作战阶段构想

设施、电子雷达、防空系统、飞机和人员等, 集群中攻击型无人机可针对不同目标需要携带不同类型弹药(反辐射导弹、航空制导炸弹、石墨炸弹、电磁脉冲炸弹、钻地弹等)采取合适的策略实施打击。攻击型无人机既可以平台外挂武器系统的形式执行任务, 重复使用; 也可将战斗部、任务设备与无人机进行一体化设计, 以巡飞弹的形式发起自杀式攻击, 一次性使用。

另外, 无人机集群与有人机、其他杀伤武器相互配合, 取长补短, 能提高战斗效能。如与高毁伤能力武器系统协同作战, 无人机集群可以充当战场先锋角色, 分散敌武器系统火力, 待敌反击能力不足时, 利用高毁伤能力武器系统对其关键部位给予致命一击。

(3) 担负干扰诱骗任务。

无人机集群完成平台释放和集群突防进入机场净空区, 其本身的存在对机场起降的飞机有碰撞威胁, 近年多地机场发生无人机非法进入机场净空区造成航班备降、延误等事故, 相关研究^[15]表明无人机与飞机碰撞会造成机体损伤, 危害严重。当机场净空区尤其是跑道附近区域上空存在大量无人机盘旋时, 可对起降飞机造成严重碰撞威胁, 干扰机场正常运行。

无人机集群可携带电磁载荷进入敌方机场空域实施干扰诱骗行动。无人机释放虚假信号诱发敌防空武器系统中的雷达开机, 然后己方侦察设备趁机完成侦察任务, 或实施诱骗攻击消耗敌武器系统防空火力。海湾战争中美军曾使用大量外挂小型无人机在预定区域投放, 达到消耗伊军大



图6 无人机碰撞民用飞机试验结果

量弹药的作战目的^[16]。无人机集群可利用数量庞大的优势, 在敌防御区域内盘旋飞行, 致使敌地面防空系统造成严重信号污染和过量负荷。

(4) 担负电子对抗任务。

机场电磁环境复杂, 包括保障飞行的中波导航台、超短波定向台、各类信标台、测距台、着陆雷达站等航空无线电台, 各型防空雷达和探测预警雷达等。

无人机集群实施分布式抵近干扰可削弱、破坏敌方电子设备的使用效能, 保护己方电子设备效能得到充分发挥。例如, 美军的狼群电子战系

统利用分布式网络结构进行数据交换,采用联网技术对敌方雷达实施分布式协同干扰。作战时无人机集群可携带电子对抗设备搜集、分析敌方电子设备的电磁辐射信号,以获取其技术参数、位置类型、用途等情报,使敌方电子设备和系统丧失或降低效能。

4 关键技术分析

作为一种新型作战力量,无人机集群执行机场封控作战任务实战前需要重点攻克一些关键技术。

4.1 运载及投放平台技术

为实现无人机集群大数量、远距离、快速投送至目标区域的目的,研发成本低、射程远、速度快的无人机集群运载和投放平台技术至关重要。首先,采用特定平台可以运载大量小型无人机,针对性的机翼折叠设计可以有效节约运载空间,增加运载量。其次,采用平台投送有利于进行远距离作战,无人机续航能力及作战半径有限,节约路途能耗可以增加封控持续时间。最后,利用平台响应快速和机动能力强的特点,满足作战快速需求。根据平台在投送无人机集群时是否进入目标防护圈,可将其分为运送型和打击型^[17]。针对敌方机场阵地的距离位置、防御能力等条件研发合适的运载及投放平台有助于节约成本和提高作战效能。

4.2 先进任务载荷技术

先进且可靠的任务载荷是不同类型无人机成功执行作战任务的保证,主要包括侦察通信载荷、攻击弹药载荷、电子对抗载荷等。

侦察载荷是无人机获取战场信息的关键,是打赢现代信息化战争的基础,包括先进的机载传感器技术、多种侦察监视载荷等。弹药载荷(或战斗部)是无人机执行攻击任务的主要武器,小型/微型精确制导弹药是当前无人机载弹药研发的侧重点之一。一方面,要将现有弹药改进升级成无人机载弹药,另一方面,要面向未来战争新形态抓紧研制满足无人机特性的新型弹药。电子对抗载荷是复杂电磁环境作战获胜的关键,需要发



图7 无人机集群运载及投放平台示意



图8 BM100小型封锁弹药



图9 销钉微型导弹

展新型诱骗载荷技术、提高通信抗干扰能力等任务。

4.3 集群智能控制技术

集群智能的研究始于仿生学领域人类对动物

集群行为的观察,包括蜂群、蚁群、鸟群等活动,将技术成果应用于军事领域可以使集群完成超出个体能力的复杂任务。大力发展人工智能技术在无人机集群控制中的应用,个体无人机应具有一定的自主能力,可以实现无人干预情况下自主飞行并规避障碍物,根据战场状态自主决策,更重要的是体现集群智能,即个体无人机能力是有限的,通过集群中无人机间相互配合与协调完成更加复杂的任务,根据环境情况和对手行为而进行战术转换和战法配合。

4.4 通信网络技术

无人机集群作战所处电磁环境复杂,一方面本身内部节点多,对通信网络的要求也十分严苛,既要满足无人机与无人机、无人机与控制站、无人机与其他平台之间可靠的信息交互,减少通信的延迟以保证信息交互的实时性,同时在无人机与地面站失去联系时,无人机群应具有通信网络的自组织能力。另一方面在作战对抗过程中,要有一定的通信抗干扰能力,以应对敌方电磁干扰对抗,同时在无人机故障、被击落等状态下,支持动态加入和退出时正常通信需求。

5 结束语

在机场预警探测和防空反导能力不断提高,反封锁跑道维修技术不断进步,战机战时敏捷部署和存在大量潜在机场目标的情况下,现有封控手段作战效能有限。无人机集群技术快速发展为封控作战提供了新思路,具有可行性和独特优势,其应用降低了对传统“高、精、尖”武器(如弹道导弹、隐身轰炸机等)的依赖,将当前高价值多用途平台的作战能力,分散到多个可快速更新替换、成本低廉的作战平台中联合完成任务,将传统串连式多批次打击方法转化为并联式大规模集群突防的打击方法,增强了体系的抗毁能力和完成任务的可靠性,相关战法和应用场景值得反复思索和实践。

[参 考 文 献]

- [1] 王宇波.叙美双方分别公布空袭后现场照片[EB/OL].
www.guancha.cn, 2017-04-08.
- [2] 环球网.反击!伊朗革命卫队证实,发射导弹袭击美国驻伊拉克军事基地[EB/OL]. www.world.huanqiu.com, 2020-01-08.
- [3] 远林.攻击机场夺取制空权[J].兵器知识, 2004(10): 42-45.
- [4] 王可杰,姚小锴,施海波.美天宁岛空军基地重启背后[N].解放军报, 2020-12-17.
- [5] 兰顺正.美军扩建关岛简易机场[N].中国国防报, 2021-02-15.
- [6] 周勇.机载布撒器子弹药抛撒参数设计与散布规律研究[D].南京:南京理工大学, 2011.
- [7] 黄广炎,冯顺山.一种子母弹药联合封锁的效能评估方法[C].智能信息技术应用学会, 2011: 8.
- [8] 王为奎,田戎,吴华,等.无人机小型封锁弹药侵爆机场道面仿真研究[J].空军工程大学学报(自然科学版), 2017, 18(3): 27-30.
- [9] 梁慧敏,白春华,万福新.润滑技术对飞机着陆距离的影响研究[J].火工品, 2005(2): 39-41.
- [10] 熊瑛,夏薇,高云昊,等.2020年国外导弹防御发展综述[J].飞航导弹, 2021(1): 6-11.
- [11] 袁艺,徐文华,徐金华.美空军敏捷战斗部署有难度[N].解放军报, 2020-07-02.
- [12] 彭玲霞.2017年国际常规武器军控发展回顾[J].国防科技工业, 2018(2): 32-33.
- [13] 朱宁.2025年—2030年美军在多域战框架下的空袭作战方式分析[J].军事文摘, 2020(9): 62-66.
- [14] Maldonado B D J S. UAV swarm attack: protection system alternatives for destroyers [J]. Systems Engineering Project Report, 2012.
- [15] 郑奎涛,龚明生,蒋大鹏,等.基于火箭橇的无人机碰撞民用飞机试验技术研究[J].航空工程进展, 2020, 11(5): 724-729.
- [16] 韩月明,方丹,张红艳,等.无人机集群典型作战运用样式及关键技术分析[J].飞航导弹, 2020(9): 43-47.
- [17] 李金晟,董超,庄凌,等.无人协同作战研究现状及应用模式[J].飞航导弹, 2020(9): 11-17.