

俄乌无人机攻防作战对反无装备发展的启示

张要一¹, 李 宁²

(1. 上海战冠科技有限公司, 上海 200434; 2. 上海机电工程研究所, 上海 201109)

摘要: 根据俄乌双方在冲突中采用无人机攻防作战的情况, 研究未来应对以无人机为代表的新型空中威胁的方法。通过梳理俄乌双方投入的无人机整体概况, 总结双方运用各类无人机构建一体化侦察与进攻体系的方法; 从应对无人机威胁角度出发, 系统梳理双方投入的反无人机装备整体概况, 总结双方运用各种软硬杀伤手段构建一体化反无人机体系的方法。基于战争实践经验, 并结合美军等强敌对无人机、反无人机装备的发展情况, 提出未来反无人机装备发展的若干启示与建议。

关键词: 俄乌冲突; 无人机; 反无人机装备; 启示

中图分类号: V 279 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-4641(2024)03-0034-06

The Enlightenment for the Development of Anti-UAV Equipment from the Offensive and Defensive Operations of UAVs Between Russian and Ukrainian

ZHANG Yaoyi¹, LI Ning²

(1. Shanghai Zhanguan Technology Co., Ltd., Shanghai 200434, China;

2. Shanghai Electro-Mechanical Engineering Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: According to the offensive and defensive operations of UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) in the conflict between Russia and Ukraine, the methods of countering new air threats represented by UAVs in the future were studied. By reviewing the overall situation of the UAVs employed by Russia and Ukraine, the methods of using various UAVs to build an integrated reconnaissance and offensive system on both sides were summarized. From the perspective of responding to the UAV threat, this paper elaborated on the overall overview of the anti-UAV equipment employed by both sides and summarized the methods of building an integrated anti-UAV system using various soft and hard killing methods. According to the practical experience of warfare, considering the development of strong hostile UAVs and anti-UAV equipment such as the US military, enlightenment and suggestions for the future development of anti-UAV equipment were proposed.

Keywords: Russian-Ukrainian conflict; unmanned aerial vehicle(UAV); anti-UAV equipment; enlightenment

0 引言

俄乌冲突已经进入第3年, 双方无人机攻防对抗日趋激烈, 从最初的军用无人机到现今的消费级无人机、穿越机, 甚至还有纸板无人机, 使用的无人机种类越来越多, 执行任务也越来越复杂。从无人机攻防角

度看, 双方都取得了大量战果。无人机作为新质作战力量, 在低烈度冲突到大规模战争中都可发挥重要作用^[1]。根据公开资料, 俄乌使用的无人机涵盖美军无人机分类标准的全部类型(I~V类)^[2], 其中I、II类及部分III类无人机属于典型的低慢小目标, IV、V类无人机性能近似于常规飞机。

收稿日期: 2024-03-14; 修订日期: 2024-03-28

作者简介: 张要一(1979—), 男, 博士, 工程师。

1 俄乌双方参战无人机概况

1.1 俄军参战无人机概况

在冲突初期,俄军主要使用中小型侦察无人机进行战场监视和目标指示,中型察打一体无人机和小型巡飞/自杀式无人机投入数量有限,对地打击能力严重不足。从 2022 年 9 月起,俄罗斯从伊朗采购了上

千架 SHAHED 系列自杀式无人机,并实现国产化,同时全力提升国内无人机产量,俄罗斯战场攻击能力明显增强。2023 年 6 月,俄罗斯发布《2030 年前无人机发展战略及 2035 年远景》,宣布要大力发展国产无人机,到 2030 年市场规模超 100 万台,国产占比要达 70%^[3]。俄军已投入战场的无人机型号有数十种,典型型号如表 1 所示。

表 1 俄军参战典型无人机参数
Tab. 1 Typical UAV parameters of russian forces used in the war

型号	美标分类	功能	原产国	长度/ m	翼展/ m	质量/ kg	续航能力/h	速度 /(km·h ⁻¹)	飞行高度/m	载荷能力
猎户座	V 类	察打一体	俄罗斯	8	16	1 000	24	120	7 500	60 kg 载荷,侦察设备和机载弹药
SHAHED-129	V 类	察打一体	伊朗	8	16	990	24	175	7 300	400 kg 载荷,4 枚空地导弹
迁徙者-6	V 类	察打一体	伊朗	7.5	10	640	12	130	5 400	光电系统和 4 枚精确制导弹药,电子战设备
前哨-R	Ⅲ类	察打一体	俄罗斯	6	9.1	456	18	216	5 797	120 kg 载荷,光电侦察和机载弹药
海雕	Ⅲ类	侦察	俄罗斯	1.8	3.1	31	0.5	150	5 000	侦察通信载荷,光电吊舱
SHAHED-136	Ⅲ类	自杀式	伊朗	3.5	2.5	200	>12	185	—	50 kg 高爆战斗部
天竺葵-2	Ⅲ类	自杀式	俄罗斯	3.5	2.5	800	>12	180	7 500	50 kg 高爆战斗部
立方体	Ⅱ类	自杀式	俄罗斯	0.95	1.21	10	0.5	130	—	3 kg 杀爆战斗部
柳叶刀 1/3	I / Ⅱ类	自杀式	俄罗斯	1.65	—	5/12	0.5/0.67	110~300	—	1 kg/3 kg 杀爆战斗部
副翼	I 类	侦察	俄罗斯	—	—	53	1.67	105	3 000	光学、红外
石榴 4	I 类	侦察	俄罗斯	—	—	30	—	145	—	光电载荷
队列-P 蜜蜂	I 类	侦察	俄罗斯	—	—	138	2	180	2 500	红外电视成像、卫星导航
超光速粒子	I 类	侦察	俄罗斯	—	2	7	2	100	4 000	摄像头、热像仪、通信中继
Orland-10	I 类	侦察	俄罗斯	2	3.1	15	16	150	5 000	日光摄像机、红外热像仪、摄像机和无线电

1.2 乌军参战无人机概况

乌克兰在冲突全程缺乏制空权且军工实力有限的情况下,主要依靠外购和北约军援的无人机执行战场侦察和对地打击任务,前期凭借 50 余架 TB-2 察打一体无人机对俄军实施精准打击,在一定程度上遏制了俄军的攻击势头。后续随着北约援助的无人机陆续抵达,乌军成批量使用侦察无人机进行低空隐蔽侦察,增强乌军地面部队的态势感知能力,并使用巡飞无人机攻击俄军指挥所、炮兵阵地等高价值目标,使俄军遭受了很大损失。2022 年中期,乌方启动了“无人机大军”项目,大力发展国产无人机。2023 年,乌克兰无人机产能提升了 130 倍,无人机采购数量达 30 万架。2023 年 12 月,乌方宣布国内无人机年产量目标为 100 万架,并成立专门的无人作战部队。乌军参战的典型无人机如表 2 所示。

2 俄乌冲突中无人机典型作战样式

2.1 强化态势感知,提升杀伤链构建效率

在北约军事援助和战场情报支持下,乌军综合利用卫星通信链路、无人机数据链等途径重构了空天侦察-通信网络^[4],其战场信息感知能力上升到了大国水准;而俄军在冲突前期投入的预警机、无人机等侦察装备数量严重不足,使乌军一举夺得战场情报优势。例如,2022 年 5 月的北顿涅茨克河防御战中,乌军利用数据链控制多个中小型无人机编队接力侦察俄军渡河行动,并对俄军渡河点进行定位,引导后方远程火炮实施火力覆盖,一举击毁俄军 40 辆战车和 3 座浮桥,迫使俄军中止渡河行动。随着冲突持续,俄军投入无人机实施战场侦察和引导火力打击机动目标,也取得显著战果。冲突中,双方发挥无

表2 乌军参战典型无人机参数

Tab. 2 Typical UAV parameters of ukraine forces used in the war

型号	美标分类	功能	原产国	长度/ m	翼展/ m	质量/ kg	续航能 力/h	速度/ (km·h ⁻¹)	飞行 高度/ m	载荷能力
图-141	V类	自杀式	乌克兰	14.33	3.88	6215	—	1 100	6 000	侦察设备、战斗部
TB-2	Ⅳ类	察打一体	土耳其	6.5	12	630	24	130	9 100	55 kg载荷,可携带侦察设备和机载弹药
UJ-22	Ⅲ类	多用途	乌克兰	3.5	4.6	85	7	160	6 000	20 kg载荷,侦察、炮兵校射、炸弹
UJ-26	Ⅲ类	自杀式	乌克兰	2.45	3.66	150	7	105	1 525	20 kg战斗部
弹簧刀300/600	Ⅱ类	自杀式	美国	1.3	—	22.7	0.67	113	1 980	双光电/红外传感器+反装甲战斗部
凤凰幽灵	Ⅱ类	自杀式	美国	1.3	1.4	22.7	6	113	1 980	光电、红外传感器+小型战斗部
海神Ⅱ	Ⅱ类	侦察	塞浦路斯	1.9	3.5	22	2	100	4 000	3 kg载荷,相机
扫描鹰	Ⅱ类	侦察	美国	1.22	3	20	20	89	4 876	光电、红外、合成孔径雷达
闪电鸟	Ⅱ类	侦察	乌克兰	1.83	2.98	21	32	160	3 100	5 kg载荷,光电
RQ-20	I类	侦察	美国	1.4	2.8	5.9	3.5	83	1 520	光电/红外侦察载荷
RQ-11B	I类	侦察	美国	0.91	1.4	1.9	1.5	80	4 575	昼/夜摄像机和热成像仪
Fury	I类	侦察	乌克兰	0.9	2	6	3	75	—	光电、红外
ST-35寂静雷霆	I类	自杀式	乌克兰	—	—	9	1	150	1 200	高爆、稳压、燃烧弹
Valkyrja	I类	侦察	乌克兰	—	1.6	4	2	85	—	光学、热成像
Corvo纸板无人机	I类	侦察 打击	澳大利亚	—	2	8.4	3	60	—	3~5 kg载荷,侦察、打击
Vector	I类	侦察	德国	1.63	2.8	8	2	85	—	光电、激光照射
UJ-32	I类	自杀式	乌克兰	—	—	—	0.33	120	2 000	RPG弹头
SkyRanger	I类	侦察	加拿大	1.35	1.35	9	—	50	4 575	光学相机

人机数量多、隐蔽性好、分布范围广、信息化程度高等优势,提高“传感器-射手”杀伤链构建效率,引导远程火力精确打击目标,确保了OODA(Observation, Orientation, Decision, Action)快速闭环,作战效能大幅提升。

2.2 实施分布式察打,精确杀伤时敏目标

针对乌克兰战场范围广、时敏目标动态分布的特点,俄乌均充分利用察打一体无人机飞行半径大、留空时间长及作战灵活性好的优势,执行分布式察打作战,分散使用自杀式无人机,精确毁伤高价值时敏目标。例如,乌军在战争初期抓住俄军推进过快、对空掩护脱节的弱点,出动多批TB-2无人机重点打击俄军交通线、后勤车队等防护薄弱环节,摧毁了数十辆俄军运输车和多套处于行军状态的防空系统^[5],部分削弱了俄军的进攻能力。在2022年5月蛇岛作战中,TB-2无人机击沉了俄军3艘舰艇,并引导远程火力对岛上俄军实施炮击。俄军则增加了猎户座等察打一体无人机的出动数量,分散渗透至乌军战线后方实施游猎,成功击毁包括美援M-777榴弹炮在内的多门乌军远程火力武器;使用柳叶刀-3等自杀式无人机,陆续摧毁了豹2A6、M1A1等机动装甲目标,打破了美德先

进装备“天下无敌”的神话。

2.3 组建低成本无人机集群,开展非对称火力打击

自杀式无人机改变了战争游戏规则,使得攻击一方更容易实施非对称打击^[6]。冲突中,俄军大量使用了SHAHED系列自杀式无人机。由于该无人机成本低、易于量产,俄军得以组建无人机集群,一次可出动数十架乃至数百架自杀式无人机,对乌军实施非对称集火打击,这种成本不对等的攻击模式取得了空前战果^[7]。2022年9月,俄军使用约20架柳叶刀-3和SHAHED-136无人机,协同攻击了乌军第406旅66炮兵营和技保分队,造成了乌军重大伤亡。2024年元旦,俄军创纪录地出动了90架自杀式无人机打击基辅等主要城市,重点攻击基础设施、变电站和发电厂等,极大地削弱了乌军战争潜力。乌克兰总统办公室顾问阿列斯托维奇称,天竺葵-2是“打开乌克兰防空系统的钥匙”,纳卡冲突中暴露的传统防空系统难以应对新型威胁的场景再次上演^[8]。然而,乌军也使用弹簧刀、凤凰幽灵等巡飞弹集火攻击俄军车辆、人员等目标,并使用自杀式无人机对俄境内油库、机场等实施非对称打击。2023年9月,乌军使用大批纸板无人

机对俄罗斯库尔斯克机场进行了空袭,摧毁了4架苏-30、1架米格-29、2部铠甲和1部C-300地空导弹预警雷达,标志着纸板无人机首次成功完成规模化实战应用。

2.4 无人装备跨域协同,合力围歼高价值目标

冲突开始时,俄军黑海舰队拥有绝对的海上优势。乌军在缺少水面舰艇的情况下,积极使用导弹、无人机和无人艇发动攻击,前后共击沉了26艘俄军舰艇,约占黑海舰队舰船总数的1/3,极大地削弱了俄军的战斗力和人心士气。在战术运用上,乌军在北约预警机、侦察机和卫星情报支持下,先用无人机侦察目标和吸引俄军火力,然后用反舰导弹或无人艇完成攻击。在击沉“莫斯科”号时,乌军先用2架TB-2无人机吸引火力,然后用2枚“海王星”反舰导弹击沉目标。2022年10月29日,乌军使用9架无人机和7艘无人艇突袭塞瓦斯托波尔港,1架美国RQ-4无人机在国际水域上空盘旋,这是冲突中首次大规模协同运用无人装备,造成俄黑海舰队至少4艘舰艇受损,称得上是一次缩微版、无人化的“珍珠港袭击”。综合多方信息可知:美国RQ-4无人机在袭击中负责侦察、监视俄军动向,并及时通报乌军指挥机构;乌军先用多架无人机发动空袭,吸引俄军防空火力;然后再派出多艘无人艇潜入俄军港口,针对高价值目标发动了自杀式进攻。从实战运用情况看,无人机、无人艇等新质作战力量改变了传统的力量对比,创新了作战样式,对战场态势发展产生了重大影响。

3 俄乌双方反无人机装备概况

3.1 俄军反无人机装备情况

俄军在由山毛榉-M2中程防空系统、道尔-M1/2近程防空系统和铠甲-S1弹炮结合防空系统组成的现役野战防空体系基础上,结合多型反无人机电子战系统,形成了较强的无人机防御能力^[9]。从探测、软杀伤、硬毁伤等维度进行装备分类^[10],俄军探测装备主要有帮会2-2雷达、Burdock雷达和PY12M7型侦察指挥车等;软杀伤装备主要有克拉苏哈-S4、游隼-沙锥、圈套、蔷薇、汽车场、驱蚊剂、镰刀VS6、ROSC-1、变色龙等反无人机系统;硬毁伤装备主要有山毛榉-M2防空导弹、道尔-M1/M2防空导弹、铠甲-S1弹炮结合防空武器、佩列斯韦特激光武器、233121型反无人战车、狼-18拦截器等。上述装备基本为俄国自产装备。

3.2 乌军反无人机装备情况

乌军原有防空装备在冲突初期大部分战损,后期随着北约援助装备大量投入战场,乌军综合运用防空导弹、高炮和电子干扰系统实施要地防御和机动防御,逐渐构建了较为严密的防御体系。与俄军相比,乌军反无人机装备来源五花八门,是名副其实的“万国牌”装备。其中,探测装备主要有ieMHR雷达、Hensoldt TRML-4D雷达、GroundMaster 200雷达;软杀伤装备主要有Nota电子战系统、Bukovel-AD反无人机系统、AUDS系统和手持式反制枪等;硬毁伤装备主要有黄蜂近程防空导弹、NASAMS导弹^[11]、猎豹高炮、毒刺防空导弹和星光防空导弹等。

4 俄乌冲突中反无人机主要作战样式

4.1 构建对空防御体系,实施分类梯次拦截

多型防空武器构建一体化防空体系实施协同作战,已经成为现代防空作战特征之一^[12]。俄军构建了由山毛榉、道尔、铠甲组成的多层对空防御体系,对乌军无人机目标实施分类防御。例如,针对乌军TB-2察打无人机的空袭威胁,俄军采用山毛榉高空远距拦截、道尔低空近程补盲的梯次拦截战法,使得乌军TB-2损失大半;对RQ-20等小型无人机,俄军则使用铠甲实施拦截,阻止其抵近侦察或自杀式攻击。乌军对来袭的自杀式无人机也采用了歼击机前出拦截+近程防空导弹要地防卫+自行高炮机动补盲的多层防御模式,成功击落了一定数量的无人机。在前沿交战区域,单兵或小分队面对超低空渗透投弹或自杀式无人机等目标,双方都采取手持反制设备、轻武器及烟雾防护等措施实施末端点防御。其中,乌军使用的以色列援助的SMASH 2000“智能射手”火控系统很有代表性,加装到步枪上后,士兵能全天候使用成像处理软件和跟踪算法打击快速移动的无人机,大大提高了命中概率。

4.2 软硬杀伤手段协同,点面结合高效拦截

近年来,反无人机手段软硬并重、协同运用已经成为各国共识^[13]。对来袭的乌军小型巡飞/侦察无人机,俄军电子战系统首先进行大范围GPS导航信号干扰,使其发生偏航无法抵达任务区域。2022年2月,乌军1架TB-2无人机在乌东地区侦察,其飞行高度在152.4~18 288 m之间快速变化,表现出失控状态,分析认为该机受到了俄军干扰。对进入任务区域的敌

方无人机,俄军电子战系统会对其通信链路实施阻塞式干扰,使其失去控制信号,无法执行侦察/打击任务;对于少量突防无人机,则使用导弹、高炮实施火力毁伤。通过软硬协同、点面结合方式有效降低了拦截成本,实现了高效防御。根据公开报道,俄军电子对抗措施不仅影响了无人机,还干扰了海马斯火箭弹、神剑制导炮弹和JDAM制导炸弹精度。乌军在冲突初期,电子战装备和防空武器数量相对较少,在防御无人机时面临不利局面,后期利用援助装备逐渐构建完整的反无人机作战体系,抗击俄军无人机集群攻击取得了大量战果。2023年11月25日,俄军出动75架无人机空袭基辅等地区,乌军运用航空兵、地空导弹、机动防空系统和电子战系统等拦截了其中的74架,拦截效率极高。

4.3 采取源头封控打击,实现射前拒止毁伤

冲突中,俄军多次采用远程打击武器实施源头封控,将乌军无人机摧毁在起飞/发射之前。例如,2022年6月,俄军发射“缟玛瑙”超音速导弹攻击了乌军敖德萨机场,将多架乌军TB-2无人机摧毁在机库中;9月起,俄军大量使用SHAHED-136无人机和巡航导弹攻击乌军纵深目标,摧毁多个物资仓库,大量北约援助无人机被毁。俄军发挥远程打击能力优势,对乌军无人机实施射前拒止毁伤,降低了前线的无人机防御压力。针对乌军自杀式无人艇威胁,俄军加强了对乌军港口的空袭力度,持续打击无人艇的组装、储存和训练等设施,将大量无人艇摧毁在港口中。乌军也针锋相对地加大了对俄军无人机设施和机场的空袭力度,2023年11月,乌军无人机袭击了俄罗斯布良斯克的无人机工厂,造成包括伊朗制自杀式无人机在内的大量无人机被毁。

5 俄乌冲突对反无人机装备的发展启示

本次俄乌冲突中的诸多战例充分展示了无人机的非对称优势,特别是巡飞弹/小型自杀无人机具有目标特性弱、制造成本低、参战数量大、时敏目标毁伤能力强等优势^[14],导致传统防空武器在反无人机作战时,存在探测发现困难、抗饱和攻击能力有限、拦截效费比差等难点^[15]。参考俄乌反无人机装备发展和典型作战运用情况,可获得以下发展启示。

5.1 构建多体制协同传感器网络

Ⅲ类以下无人机作为典型的低慢小目标,雷达和红外特性相对不明显,故反无人机作战首先需解决无

人机探测问题。在战场上,俄军综合使用防空武器搜索雷达和光电辅助搜跟系统引导防空武器实施目标探测、跟踪、拦截,乌军则针对SHAHED-136无人机燃油发动机噪声较大的特点,采用防空雷达和声学传感器实施预警,并使用电子战系统对俄军无人机的电子信号进行测向定位。参考双方的实战经验,反无人机装备体系应发展多体制联合探测技术^[16],综合利用雷达、光学、红外、声学等途径构建互联互通的传感器网络,实现对无人机目标的多波段、主被动协同高效探测,并通过多种探测体制优势互补,提升对复杂电磁环境的适应能力。

5.2 使用分类分层拦截装备

冲突中参战的无人机包括中型察打一体无人机、中小型侦察无人机和小型巡飞/自杀式无人机等多种类型,其使命任务和运用方式不尽相同。参考俄军实战经验,无人机防御应采取分类分层拦截措施^[17],战时应首先使用远程打击武器对无人机蜂群投放平台或尚未起飞的敌方无人机实施“发射前摧毁”,阻止敌方释放无人机集群;若敌方无人机已升空,则对数量较少、单机成本较高的中型察打一体无人机和侦察无人机采用防空导弹实施尽远拦截;对数量较多、单机成本较低的小型无人机集群,则综合使用远距电子干扰、近距火力拦截的分层拦截方式,先通过大范围电子干扰充分削弱来袭无人机集群的数量,再使用高炮、末端防空导弹等火力拦截武器射击少数漏网目标,充分提升防御效能。

5.3 研制高性价比拦截装备

相对于中小型无人机的低成本,防空导弹价格较高。例如,SHAHED-136自杀式无人机单价仅2万美元,而防空导弹单价可达数十万乃至数百万美元,对抗低成本无人机集群效费比很低。因此,无人机防御需研制高性价比拦截装备^[18],如强激光和电磁脉冲武器。其中,强激光主要依靠激光束烧蚀毁伤目标,具有指向性好、光速到达的优势;电磁脉冲武器通过高能电磁脉冲毁伤无人机内部的电子元器件,具备面杀伤能力,是对抗蜂群无人机最高效的武器之一,已成为外军反无人机装备的发展重点。此外,小型低成本防空导弹也是无人机防御装备的未来发展方向之一,例如,俄军计划为新一代铠甲-SM弹炮结合防空武器配备19R6小型反无人机导弹,将单车备弹量由12枚提升至48枚,有效增强对无人机蜂群的拦截能力^[19]。

5.4 打造一体化反无人机体系

无人机作战已经呈现出体系化特征,无人机作战运用已经由单机作战向集群作战、协同作战、体系作战演进^[20]。反无人机装备种类多样、性能各异、各有专长,面对无人机体系进攻,反无人机装备也必须实施一体化作战。为聚合发挥各类装备作战效能,应开发专用反无人机作战指挥控制系统,统一接入和调度各类反无人机作战资源,提供预警探测、态势生成、威胁评估、火力分配、武器控制以及毁伤效果评估等功能^[21],实现分布式、智能化的协同拦截。2020年,美国陆军基于前沿区域防空指挥控制系统(FAAD C2)开发反无人机指挥控制系统,重点实现开放的系统架构和互操作性,目前已集成15种传感器(雷达、光电)、40多种效应器(硬杀伤和干扰装备),并向上纳入一体化防空反导指挥控制系统(IBCS),初步形成了一体化反无人机作战能力。因此,应打造基于网络信息系统的反无人机作战体系,引入人工智能等先进技术,有效提升整体拦截水平。

6 结束语

俄乌冲突中出现了高强度的无人机攻防对抗,双方成体系运用多种无人机开展情报侦察、电子干扰、精确打击以及火力引导等,在战场上发挥了极大作用。为应对未来无人机威胁,应参考俄乌无人机攻防经验,研制高性价比拦截装备,构建多体制协同传感器网络,采取分层分类拦截措施,通过软干扰和硬毁伤装备点面结合,实施一体化反无人机作战,充分提升对无人机目标的防御效能。

参 考 文 献

- [1] LEE C, GUNZINGER C M A. The next frontier: UAVs for great power conflict (Part 1: penetrating strike)[R]. Arlington, VA: The Mitchell Institute for Aerospace Studies, 2022.
- [2] U. S. Department of the Army. ATP 3-01.81 Counter-unmanned aircraft system techniques [Z/OL]. (2017-04-13)

- [2024-03-12]. <http://www.apd.army.mil>.
- [3] 黎然. 俄媒:俄政府批准国产无人机发展战略[EB/OL]. (2023-06-29) [2024-03-12]. http://www.xinhuanet.com/mil/2023-06/29/c_1212239040.htm.
- [4] 张洪碧, 孟凡松, 翟东航. 某局部冲突中无人机作战运用及启示[J]. 指挥控制与仿真, 2022, 44(4): 16-20.
- [5] 张元华, 门金柱, 虞启磊. 俄乌冲突中无人机技术作战使用研究[J]. 科技与创新, 2023(9): 138-140.
- [6] 王岐朋, 王韩, 李嘉诚. 战场规则改变者: 美制“弹簧刀”单兵巡飞弹[J]. 轻兵器, 2022(10): 26-29.
- [7] 王玉杰, 邓小龙, 高显忠. 自杀式无人机系统与作战运用现状[J]. 国防科技, 2023, 44(2): 90-98.
- [8] 张阳. 纳卡冲突中无人机攻防装备运用及典型作战场景分析[J]. 指挥控制与仿真, 2022, 44(5): 31-37.
- [9] 戴卫青, 刘杰, 刘康. 浅析俄罗斯空天防御体系发展策略[J]. 空天防御, 2018, 1(1): 69-73.
- [10] 凌海风, 李瑞, 柏林元, 等. 俄罗斯反无人机装备发展现状及启示[J]. 国防科技, 2023, 44(3): 81-87.
- [11] 聂永芳, 翟敬华, 苏广和. 挪威先进面空导弹系统[J]. 飞航导弹, 2012(9): 45-47.
- [12] 鲁亚飞, 陈清阳, 郭正, 等. 要地防卫反无人机装备发展与启示[J]. 国防科技, 2020, 41(5): 67-73.
- [13] 赖文星, 王创维, 顾村锋, 等. 一体化防空协同组网作战研究[J]. 空天防御, 2022, 5(4): 92-96.
- [14] 杨清亮, 杨光, 万华翔. 巡飞弹对空防作战的影响及对抗技术研究[J]. 飞航导弹, 2021(12): 12-16.
- [15] 李超, 李浩, 苏号然. 国外小型巡飞弹发展分析及其预警系统应对策略研究[J]. 空天防御, 2023, 6(3): 58-65.
- [16] 王书恒. 国外反无人机系统的发展动态和未来趋势[J]. 军事文摘, 2022(3): 43-47.
- [17] 李富良, 胡荣, 韩涛, 等. 俄罗斯反无人机策略与装备发展现状[J]. 飞航导弹, 2019(9): 53-58.
- [18] 史飞. 反无人机蜂群的“技”与“术”[N]. 解放军报, 2021-09-10(11).
- [19] 盖敏慧, 张蕾, 张卓. 俄罗斯铠甲-S1弹炮结合防空系统新发展[J]. 飞航导弹, 2019(7): 31-36.
- [20] 朱付景, 杨勤泗, 朱义勇, 等. 要地防空反无人机指挥控制系统建设需求[J]. 国防科技, 2023, 44(5): 130-135.
- [21] 孙海文, 于邵祯, 周末, 等. 反无人机蜂群作战指挥控制系统[J]. 指挥控制与仿真, 2023, 45(2): 31-37.