

反无人机作战：全球攻防新战场

■王照瑞



激光武器反无人机示意图。

无人机发展现状及威胁

近年来,无人机在全球多场地区冲突中频繁现身,成为战场上的“新宠”。从引导炮火精确打击目标,到携带炸弹对重要设施发动突然袭击,无人机的身影无处不在。与此同时,无人机带来的安全威胁日益凸显,反无人机作战逐渐成为全球攻防的新战场。

近年来,无人机技术和产业规模呈现爆发式增长。在军事领域,无人机凭借体积小、机动性强、隐蔽性好等特点,被广泛应用于侦察、监视、攻击等任务。在民用领域,无人机同样发挥着重要作用。一些物流企业尝试使用无人机进行快递配送,提高配送效率。无人机还可用于农田测绘、病虫害监测和农药喷洒,提升农业生产的精准度和效率。据国际无人机系统协会报告,2025年全球无人机市场规模预计突破1000亿美元,充分显示了无人机市场的巨大潜力和发展趋势。

随着无人机的普及,其潜在威胁也日益凸显。小型无人机可以轻松携带爆炸物,对重要设施和人员发动突然袭击,造成严重的人员伤亡和财产损失。此外,无人机还可能被用于非法拍摄、窃取情报等活动,对个人隐私和国家安全构成严重威胁。据统计,仅2023年全球发生针对重要设施的无人机入侵事件较前一年增长近70%。这些数据表明无人机威胁正不断升级,已经成为全球安全面临的重要挑战之一。

面对无人机带来的安全威胁,传统的防空手段显得力不从心。雷达、导弹防御系统等传统防空设备在应对小型、低空、慢速飞行的无人机时存在诸多局限性。为了有效应对无人机威胁,反无人机技术应运而生并迅速发展。

两类反无人机技术介绍

按照功能划分,当前的反无人机技术分为无人机探测识别技术和无人机反制技术。这一“动”一“静”两类技术相互配合,共同构成反无人机系统的核心。

无人机探测识别技术包括射频分析仪、雷达、视觉/热成像传感器、声学传感器等。射频分析仪能探测无人机与地面站之间的无线电通信信号,捕捉当

前位置和操作员位置信息。先进的射频分析仪还能通过分析波形特征识别无人机的品牌、型号和序列号。其技术成本相对较低,能远距离实时跟踪多个目标,但难以探测到依赖惯性导航飞行、自主式或预编程的无人机。

雷达是另一种常用的无人机探测技术。目前大多数反无人机系统使用2D或3D雷达精确探测和定位无人机。2D雷达可以探测大多数类型的无人机,但不能提供关于目标高度的信息。3D雷达可以提供关键的高度信息,还可以精确指示干扰器对准无人机。另外,还有有源电子扫描阵列(AESA)雷达。这种雷达的工作模式像人眼,可以从一个角落扫描到另一个角落观察整个图像。与之相对应的是多输入多输出(MIMO)雷达,其工作模式像苍蝇眼,不需要通过扫描即可获得整个图像。这种雷达具备较高的刷新率,大大改善了对无人机(包括蜂群)的探测和跟踪效果。不过,由于无人机在低空飞行,飞行速度慢且雷达散射截面小,以上雷达传感器很难区分无人机与噪声和杂波。

视觉/热成像传感器适合探测低空快速移动的小型物体,与图像处理软件相结合,能够对无人机进行视觉探测和分类。它们可以探测到无人机电机和电池的热信号,还能通过探测人的身体热信号识别无人机操作员,确定其位置。视觉/热成像传感器在近距离探测和识别无人机方面具有较高的准确性和可靠性,但受天气、光照等环境因素影响较大,在恶劣天气条件下,探测效果会大打折扣。

声学传感器可以探测到无人机发出的声音并计算其方向,比射频分析仪更具优势。它们可以探测到电磁频谱近场范围内的任何无人机,包括不依赖无线电波的自主无人机,但易受环境噪声干扰,在嘈杂的环境中,其探测精度会受到影响。

为提高探测率,在实际使用中,根据覆盖范围、角度和周围环境,以上探测识别技术往往被叠加使用,从而形

成一个有效的无人机探测系统。

无人机反制技术包括通信/导航系统干扰、信号入侵、空中拦截与地面火力打击、激光武器等。通信/导航系统干扰是通过实施电子干扰,使无人机机载探测设备及数据传输与处理受到影响甚至失灵。这种反无人机手段对于小型侦察无人机尤为有效,但需要准确把握无人机的通信频段和信号特征,否则难以达到预期的干扰效果。

信号入侵。高度智能化的无人系统往往接入计算机网络,这为破解其关键密码或协议创造了机会。另外,无人机的控制站计算机往往防护不严密,使用键盘记录器之类的木马软件就可以截获无人机操作规律,分析出有用的信息。通过信号入侵反制无人机需要具备较高的技术水平和专业知识,并且需要对无人机的网络架构和通信协议有深入了解。

空中拦截/地面火力打击。无人机飞行路线一般为预先规划,更改航迹需要一定时间,加上多数侦察型无人机飞行速度慢,这些缺陷使其容易受到有人机或地面小型武器的攻击。一旦发现来袭无人机,可由航空兵地面部队和海军舰艇防空兵力共同反击,严密协同,合理安排打击次序,给来袭无人机以毁灭性打击。不过,这种反制方式可能会对周边环境造成一定的破坏,不宜在城市等人口密集地区使用。

激光武器。激光武器具有快速、灵活、抗电磁干扰和成本低等优点,其原理是利用高能激光束对目标进行照射,通过热效应破坏无人机的关键部件,使无人机失效或坠毁。然而,激光武器受天气影响较大,在大雾、大雨等恶劣天气条件下,其射程和威力会受到明显影响。

用于反无人机的无人机。利用反无人机系统搭载先进的探测、干扰装置甚至“自杀式”拦截无人机,实现对敌方无人机的有效识别、跟踪与摧毁。用于反无人机的无人机往往体积小、隐蔽性强,能够在不引发大规模冲突的前提

下,悄无声息地瓦解敌方无人机攻势。同时,这种无人机组间的对抗体现了现代战争中的“不对称优势”理念,即通过开发成本相对较低的反无人机系统,可以有效抵消敌方高端无人机的威胁,实现战略平衡。例如,美国发布的“莫菲斯”无人机,尺寸小,能封装在直径为15厘米的发射管中,携带高功率微波武器,可反无人机和无人机蜂群。

反无人机技术应用场景

在军事冲突中,反无人机技术对于保护军事设施、部队安全和确保作战行动顺利进行至关重要。在战场上,无人机可以携带武器对敌方目标进行攻击,也可以进行侦察和监视,为己方提供情报支持。因此,反无人机技术的应用可以有效降低敌方无人机对己方造成的威胁。在叙利亚战争中,俄罗斯军队曾广泛运用反无人机技术,通过部署多种反无人机系统,拦截和摧毁了大量敌方无人机,保护了己方军事设施和人员的安全。另外,在军事演习中反无人机技术也成为重要的演练科目。俄军自2019年起,所有的重大军事演习均包括反无人机科目,通过演习不断检验和提升反无人机作战能力。

在民用领域,反无人机技术同样具有重要应用。民用机场是无人机威胁的重点防范区域,无人机一旦闯入机场空域,可能与民航客机发生碰撞,引发航空事故。因此机场需要采取有效的反无人机措施,确保飞行安全。另外,在举办大型体育赛事、演唱会等活动时,无人机可能被用于实施恐怖袭击、非法拍摄等。为保障活动顺利进行,需要使用反无人机技术对活动现场和周边空域进行管控。2022年卡塔尔世界杯足球赛期间,安保公司将便携式“无人机猎手”系统部署至多个体育场,有效防范了无人机可能带来的安全威胁。

此外,核电站、水电站、石油化工设施等重要基础设施进行反无人机防护至关重要。通过部署反无人机系统,可

以实时监控周边空域,及时发现和拦截可疑无人机,确保重要基础设施的安全。

未来挑战与发展趋势

随着无人机技术不断发展,新型无人机具备更强的隐身性能、抗干扰能力和自主飞行能力,这给反无人机技术带来更大挑战。例如,有的无人机采用先进的隐身材料和设计,降低了雷达反射截面,使得传统的雷达探测设备难以发现。有的无人机配备抗干扰通信系统,能够在受到干扰的情况下继续保持飞行和通信。为了应对这些挑战,反无人机技术需要不断升级,提高探测和反制能力。

随着反无人机技术的发展,如何界定合法拦截与侵犯隐私的界限成为另一个重要问题。在反无人机过程中,可能会对民众隐私造成侵犯。例如,通过热成像传感器识别无人机操作员时,可能会同时获取到周边人员的信息。同时,反无人机系统的滥用是否加剧国际紧张局势也引发广泛关注。这些法律与伦理争议需要各国共同探讨制定相关规则 and 标准,确保反无人机技术的合理使用。

随着技术的不断进步,反无人机技术将朝着以下方向发展。

智能化更高。人工智能可以帮助反无人机系统更快速、准确地识别和跟踪无人机,提高反制的成功率。例如,通过机器学习算法,反无人机系统可以自动识别不同类型的无人机,并根据其飞行特征和行为模式制定相应的反制策略。另外,人工智能还可以实现反无人机系统的自主决策和协同作战,提高反无人机作战的整体效能。

一体化集成。未来的反无人机系统将更加注重一体化集成,将多种探测和反制技术融合在一起,形成一个综合性的反无人机防御体系。通过射频探测、雷达探测、视觉识别、激光反制等技术集成在一个系统中,实现对无人机的全方位、多层次探测和反制,提高反无人机系统的可靠性。同时,一体化集成还可以实现反无人机系统与其他防空系统的互联互通,形成一个更加严密的防空网络。

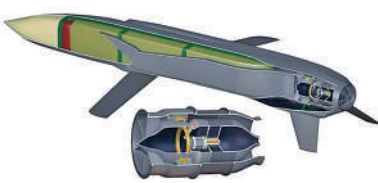
便携化提升。为满足不同场景下的反无人机需求,反无人机装备将朝着便携化和机动性提升的方向发展。便携式反无人机设备可以方便地部署在各种场所,如机场、重要基础设施周边等,随时应对无人机威胁。此外,车载、舰载和机载反无人机系统将不断提高机动性,能够快速响应并到达指定区域,对无人机进行拦截和摧毁。

反无人机技术作为应对无人机安全威胁的重要手段,在全球范围内得到广泛的关注和发展。多国通过不断研发和应用反无人机技术,提高自身的安全防御能力。然而,反无人机技术在其发展过程中仍面临诸多挑战,需要国际社会加强合作与交流,制定相关规则 and 标准,推动反无人机技术的健康发展。随着技术的不断进步,反无人机技术将在未来的安全防护中发挥更加重要的作用,为维护国家安全、社会稳定和人民生命财产安全提供保障。



前沿技术

美国测试旋转爆震发动机



采用旋转爆震发动机的导弹(渲染图)。

近日,美国普惠公司宣布完成旋转爆震发动机(RDE)测试,标志着这一技术即将从试验阶段走向工程应用阶段。作为美国国防部“Gambit”项目的核心技术,旋转爆震发动机被视为未来高超音速导弹动力系统的解决方案,将对远程精确打击武器发展产生重要影响。

与传统的涡喷或涡扇发动机依赖“爆燃”(亚音速燃烧)不同,旋转爆震发动机的核心在于“爆震”——燃烧速度在超音速以上,从而形成持续的高压冲击波。其工作原理如下:在环形燃烧室内,燃料与空气混合后被点燃,产生高速旋转的爆震波并在燃烧室内循环,从而将化学能转化为推力。由于无需复杂的机械结构(如压气机叶片),旋转爆震发动机的零部件大为减少,结构更加紧凑。

旋转爆震发动机的技术突破主要体现在3方面:一是热效率提升。爆震燃烧产生的压力峰值远超传统发动机,其燃烧效率更高,为延长导弹射程提供了可能。二是体积与重量优化。简化后的结构使发动机尺寸变小、重量减轻,使导弹可携带更多燃料和有效载荷。三是高超音速潜力。爆震发动机的特性使得武器更容易获得5马赫以上的飞行速度,满足未来战场对“即时打击”的需求。

在旋转爆震发动机成品推出前,还有两个主要的技术障碍有待突破。一是对燃料与空气接触面的精确控制。爆震波的稳定传播需要微秒级精度的燃料喷射,任何失误都有可能造成燃烧中断。二是材料与制造工艺。燃烧室内超高温、高压环境对耐热材料提出极高要求,而3D打印等先进工艺有望成为突破关键。

旋转爆震发动机并非唯一的高超音速推进方案,但其凭借结构简单、成本可控等优势,更契合大规模装备需求,未来发展值得关注。

英国推出超轻耐高温纤维



羽毛状轻型隔热纤维(示意图)。

据外媒报道,英国伯明翰大学旗下企业推出一款新型隔热材料——以生物活性玻璃为基材的静电纺丝纤维。这种纤维材料既耐高温,又有极轻的结构,为军事装备、航天器的热防护开辟了新路径。

据报道,该纤维材料的核心突破源于伯明翰大学研发的静电纺丝工艺:通过高压电场将聚合物溶液拉伸成超细纤维,并形成仿羽毛的多孔网络结构。其重量仅为传统陶瓷纤维的1/100,导热率比高端材料低90%,可承受1000℃高温。同时,这种纤维材料密度较低,厚度较小,在密闭空间内可形成更高效的热屏障。此外,该纤维材料选用生物活性玻璃作为基材,兼具玻璃的高耐高温性和陶瓷的化学稳定性。其纤维网络既能呈现“棉絮”般的柔性,也可压制成多层致密织物,从而适应不同场景需求。

在军事领域,这种纤维材料的轻量化和耐高温特性,使其具有明显使用优势。以装甲车辆为例,用这种纤维材料替换传统隔热层,将使发动机舱大幅减重,动力效率提升,同时可降低因高温引发电子故障的概率。对于导弹和航天器,其柔性特质能紧密贴合复杂曲面,替代刚性隔热瓦,使再入大气层时的热防护系统破损率大幅降低。

总而言之,这种静电纺丝纤维更新了高温防护材料的技术标准。而由材料创新驱动的效能革命,已然拉开帷幕。

(刘一澳、林骥飞)



猜猜这是啥

■虹 摄