

# 空中隐身作战平台发展趋势

■成高帅 朱健楠 赵 云

当前,关于隐身作战的研究,主要集中在如何发挥隐身优势,将己方力量隐蔽送至对抗环境中,继而先敌发动突袭,提高胜算概率。空中作战平台相比地面、水面和水下打击平台拥有明显的作战优势,这也使得空中作战平台的隐身能力变得更为重要,成为影响战局走向的战略能力。

近年来,随着智能化、自主化技术的发展,有观点认为未来空中隐身作战平台的重点,不是基于绝对速度达成突袭,而是基于人工智能、集群战术和小型化自主系统等融合运用取得制空优势。这一变化不仅将重塑空战样式,还会深刻影响未来作战形态。



俄罗斯苏-57战斗机(前)与无人机协同飞行。



有/无人协同制空作战(效果图)。

## 隐身技术效能有限

空中隐身作战平台并非真的隐身,而是通过降低平台的电磁、光学和声学等可探测物理特征,使敌方雷达等防空探测系统无法在第一时间发现其踪迹。因此,空中隐身作战平台的隐身是一种综合作战结果,其隐身设计主要包括两方面。在信号特征方面,降低信源辐射,如雷达信号、红外信号和声学信号等,继而降低拦截概率;在外部特征方面,优化机体结构和

外形设计,弱化机体的可视化特征,继而降低可观测性。从多国现有空中平台看,隐身技术主要应用于五代机,如美军F-22、F-35和俄罗斯苏-57等战斗机,以及部分空空导弹系统。

五代机隐身设计主要是针对雷达探测,通过降低雷达散射截面,减少电磁反向散射量,提升反探测能力。目前五代机上使用的主要隐身设计元素包括雷达吸波材料、排气管布局、连续曲面设计和保形油箱等。同时,五代机的雷达和通信系统也是影响反探测效能的重要一环。例如,美军F-35战斗机装

备低拦截概率雷达和通信系统,能够隐蔽实施作战行动;俄罗斯苏-57战斗机采用多面体宝石型结构,并不影响作战性能的前提下,机身70%覆盖了可吸收雷达波的透波复合材料。

隐身技术同样应用于空空导弹的设计中。例如,美军AGM-158系列联合防区外空地导弹的外形设计中加入许多隐身元素,包括气动/隐身一体化设计、使用吸波材料和涂层等,加上导弹射程的提升,使得载机能够在保证自身安全的情况下远距离打击目标。

从近年来在战场上的表现来看,五代机并不能在战场上“畅行无阻”。一方面由于大型作战平台的固有缺陷,五代机难以实现“在对手雷达屏幕上完全消失”;另一方面,在面对先进雷达探测时,五代机仍需电子战平台支援作战。常见的做法是将五代机与电子战飞机组合使用,压制对手的雷达探测,提升己方的战场生存能力。美军F-35战斗机深入对手领空后,需使用机载主动电子扫描阵列雷达压制对手雷达系统。期间,F-35战斗机反向散射信号遭对手

雷达捕获的概率仍然存在,需要电子战飞机协助作战。俄罗斯苏-57战斗机出于对飞机结构强度的考虑,未整机采用隐身涂层,导致该机的雷达散射截面增大,在突防作战中需要电子战平台压制敌方雷达探测信号。

## 空战亟待技术革新

现代空中隐身作战学说曾提出两种对敌突袭的方法。在近距离攻击时,运用四代机等常规战机,借助山丘等地形起伏隐蔽飞行,或在海平面上低空飞行,接近并打击目标;在远距离攻击时,使用五代机从防区外对目标发动攻击。后一种方法虽然符合现代空战学说关于五代机的作战设想,即在更高、更远的位置实施防区外打击行动,但在现实对抗环境中会将五代机暴露给对方高空雷达的探测下。究其原因,虽然五代机的设计中融入大量隐身技术,但无法避免大型空中平台的固有特征,加上五代机需要电子战飞机提供支援,而后者作为庞大的辐射源,极易遭到对手的重点打击。由此,有观点认

为在现代战争中五代机的隐身作战能力面临考验。对此,美军提出改变传统有人机隐身作战样式,发展效能更高、规模更小的无人进攻作战力量,维持相当的空中作战能力。同时,需要发展人工智能、小型化空中平台和集群战术。

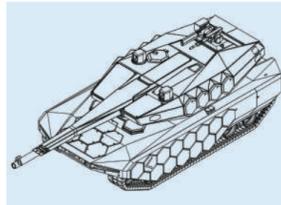
空中平台小型化后,可进一步降低其雷达散射截面,确保作战隐蔽性。集群战术可运用成本更低的导弹或无人机,攻击更具战略价值的目标,如大中型驱逐舰、航母和防空反导阵地等。同时,集群战术还能够对目标形成饱和攻击,消耗敌方防空火力,有效掩护己方有人机行动。在人工智能、集群作战和平台小型化的影响下,美军还提出防区内多域战概念。即以多型无人机组组成进攻性力量,从对手防区内出动,展开协同作战,目的是通过加大对手空中识别难度,降低其反制行动的效能。其间,有人/无人平台配合行动,可避免高价值目标过早暴露,加上突袭主要依赖无人机组成的进攻性力量,这些都有助于空中隐身作战发展。

## 实战效能有待观察

近年来的大量军事实践表明,进攻行动的成效仍有赖于突击行动的突发性、隐蔽性和持续性,特别是争夺空中优势的制空作战,因此运用空中隐身作战平台实施突袭,仍是各国普遍认可的有效手段。与此同时,随着无人机在地区冲突中的大量应用,各国也在重新思考和设计未来隐身作战。目前,在部分地区冲突中,已经出现五代机与无人机协同作战样式,虽然发展缓慢,但这一趋势值得关注。

从实际情况看,基于人工智能、集群战术和小型化自主系统组建空中突击力量,特别是有/无人协同实施作战,仍处于摸索阶段,其实际作战效能有待观察。按照军事研究领域关于热点地区冲突的设想,在特定地域环境、面对复杂电磁环境,为达成有/无人集群大范围制空作战与火力打击,需要新的作战概念和技术突破做支撑,并进行充分验证。特别是随着无人机种类和数量的增加,将其整合到统一的指挥控制网络中并非易事。而要想真正形成实战能力,在通信链路、数据处理、分布式控制等技术领域仍面临不少难题。

## 韩国企业提出 K3 坦克设计方案



韩国 K3 坦克设计图。

据外媒报道,近日,韩国现代乐铁工业集团正式注册 K3 坦克设计方案,该设计方案被认为与韩国下一代主战坦克项目紧密相关。

韩国军方认为,韩国 K2 主战坦克已无法满足未来作战需求,需要研制新一代主战坦克。K3 坦克作为 K2 主战坦克的“潜在继任者”正在研发中,将对韩国军方对坦克隐身性、机动性和战场生存能力等要求。

据公开的设计方案,K3 坦克车体仍使用传统布局,战斗全重不超 55 吨,采用无人炮塔,乘员舱位于车体前部,可容纳 2 至 3 名乘员,动力系统将从混合动力逐步过渡到全电驱动。武器方面,K3 坦克将配备 130 毫米滑膛炮和自动装弹系统,车体后部安装垂直发射系统,用于发射反坦克导弹或防空导弹。该坦克还将集成基于人工智能的火控和指挥系统,提升作战效率。

## 英国推出“超重型”货运无人机



英国“超重型”货运无人机。

据外媒报道,英国推出一款“超重型”货运无人机,旨在提升战场前沿军事运输效率。

“超重型”货运无人机总重 600 千克,最大载货量 250 千克,具备较强的运输能力。该无人机能够在短时间内将医疗用品、武器装备及其他物资直接运送至前沿阵地或偏远地区。该机在执行任务期间无需人工操控,依靠内置导航系统和自动驾驶程序,自主规划飞行路线,避开障碍物,快速抵达目的地。

“超重型”货运无人机还能执行由船到岸补给任务,可以从补给船上起飞,将物资快速送到岸上指定地点,提升后勤保障速度和灵活性。

英国国防部表示,“超重型”货运无人机的应用,将优化军事物流体系,提升军队在复杂环境下的作战能力和应对突发事件的响应速度,有望为英国军事后勤保障带来变革。

## 美国研发海军陆战队版“女武神”无人机



美 XQ-58“女武神”无人机(左下)。

据外媒报道,美国军工企业为美国海军陆战队研发的 XQ-58“女武神”无人机改进型号即将亮相。

XQ-58“女武神”是一款具备高亚音速飞行能力的隐身无人飞机,是美国空军“忠诚僚机”概念的重要组成部分。美国海军陆战队希望在该机基础上,研发适应海军陆战队使用的型号。

目前两款 XQ-58“女武神”无人机改进型号已经进入最后开发阶段,预计很快向外界展示。其中一款具备短距起降能力,预计将在美海军陆战队的前进基地或野战简易机场使用。另一款注重舰载适应性,可由两栖攻击舰搭载,用于执行侦察、监视和对陆攻击任务。

XQ-58“女武神”无人机翼展 8.2 米,机身长 9.1 米,最大起飞重量 2.7 吨,可携带精确制导武器、电子战设备和多种传感器。该机采用隐身设计,配合内置弹舱,可降低被敌方雷达探测到的概率,具备一定的突防能力。美海军陆战队希望借助这两款新型无人飞机增强作战适应性和灵活性。

(曲天穹)

# AI 助力无人机检测识别技术

■曲 卫

近年来,无人机技术发展迅速,应用领域不断拓展,从物流配送、环境监测,延伸至军事侦察、目标打击等关键场景。与此同时,无人机的广泛使用也带来一些安全隐患。例如,小型无人机可能被用于非法入侵、情报窃取,甚至是对一些关键设施发动攻击。传统的反制手段在应对这些小型无人机时,往往难以达到较好的作战效果。基于人工智能(AI)的无人机检测识别技术,成为应对这一威胁的重要方式。

传统的无人机检测识别技术主要是通过雷达、光学传感器和无线电监听实现。其中,雷达发射电磁波探测目标,但面对低空低速小型无人机时,灵敏度低,易受地形干扰。红外摄像头等光学传感器虽能提供视觉信息,但在恶劣天气或夜间条件下,其探测效能大打折扣。无线电监听通过识别无人机的通信信号对其进行定位,但遇上加密通信链路或静默状态的无人机时便会失效。此外,多架无人机协同行动时,将进一步加大检测识别难度。传统手段在处理海量数据、快速做出响应方面存在明显不足,急需智能化升级。

人工智能技术明显提高了无人机检测识别能力,但在实际应用中面临诸多挑战。例如,无人机可能采用人工智能反制手段,从而引起检测系统误判。算法可靠性也可能存在问题。机器学习模型的准确性依赖于训练数据的完备性,如果训练数据未涵盖新型无人机或极端场景,人工智能会出现漏检情况。此外,系统集成难度大,多传感器协同需要解决时延同步、数据格式统一等技术问题,这些仍需进一步优化改进。

多源传感器融合:该系统采用无雷达设计,通过射频传感器、红外摄像头和人工智能算法协同工作。射频传感器负责扫描无人机的通信信号,提取频段、信号强度等关键参数;红外摄像头

进行实时监控,对目标进行识别;人工智能算法对各传感器的数据进行融合,减少误报和漏报情况。

智能识别与分类:“KARMA”反无人机系统能够分析识别不同类型的无人机,如民用四旋翼无人机和军用固定翼无人机,还能判断无人机的飞行模式,如悬停、盘旋、集群编队等,并评估威胁等级,启动应对措施。

实时决策与响应:检测到威胁后,“KARMA”反无人机系统会将信息推送至指挥控制单元。操作人员通过人机界面获取空情信息,并选择干扰或硬杀伤等手段。另外,该系统配备的射频干扰模块可阻断无人机通信链路,使其降落或返航;如需进行物理摧毁,还可联动火力控制单元,但最终决策权掌握在操作人员手中。

测试表明,在应对多种复杂威胁场景时,由人工智能驱动的检测系统展现出一定优势。对于低空飞行的无人机,其能准确捕捉处于雷达盲区内的目标。面对集群攻击,人工智能算法可并行处理多目标数据,预测飞行轨迹,并优先拦截高威胁目标。

虽然人工智能技术有效提升了无人机检测识别能力,但在实际应用中面临诸多挑战。例如,无人机可能采用人工智能反制手段,从而引起检测系统误判。算法可靠性也可能存在问题。机器学习模型的准确性依赖于训练数据的完备性,如果训练数据未涵盖新型无人机或极端场景,人工智能会出现漏检情况。此外,系统集成难度大,多传感器协同需要解决时延同步、数据格式统一等技术问题,这些仍需进一步优化改进。

# 战机的凝结云

■王笑梦



上图中,一架高速飞行的战机尾部出现一团圆锥状的凝结云,仿佛为战机穿上了一件“白纱裙”。许多人将出现在战机身上的凝结云统称为“音爆云”,事实上并非如此。

当战机在含水量较高的空气中以接近音速(在标准大气条件下,音速约为 340 米/秒)或超音速飞行时,机身附近的空气受到剧烈压缩,空气中的水蒸气会凝结成云,物理学上把这一现象称为“普朗特-格劳弗厄脱效应”。根据凝结云的不同形状和战机的不同飞行速度,凝结云又可以分为低亚音速不规则凝结云、高亚音速锥形凝结云和超音速锥形凝结云。

在这 3 种凝结云中,低亚音速不规则凝结云最为常见。当战机以低亚音速飞行时,机翼前缘、边条和翼尖处会出现局部低压区,导致水蒸气凝结。它紧贴机身表面,形状不规则,看上去就像是机身裹了一层棉絮。在航展上进行亚音速飞行表演的战斗机机身上,通常会出现这种凝结云。

当战机以接近音速或跨音速飞行时,机身周围会出现亚音速和超音速气流混合现象,此时战机周围的空气被极速压缩且无法迅速散开,导致机身周围温度下降,形成高亚音速/跨音速锥形凝结云。这种凝结云通常以机身为中心,从机翼前段向四周均匀扩散开来,呈现边界清晰的圆锥状云团,状如美丽的“白纱裙”。与此同时,在战机速度突破音障时常伴有音爆声,此时这种凝结云就被称为“音爆云”。

较难观察和拍摄到的是超音速凝结云。当战机以超音速飞行,产生的激波较强,且延伸较远,形成的超音速凝结云比战机机身还大,如同从战机机翼向外延伸出的一对巨大的“羽翼”。不过,由于战机在超音速飞行时会产生巨大的音爆声,很少有战机在低空进行超音速飞行,因此人们也很难一睹这种超音速凝结云的样子。

3 种凝结云,是战机从亚音速跨越至超音速飞行时产生的流体力学现象,其形成取决于战机的飞行速度、大气压力和空气湿度等复杂因素。通常情况下,凝结云肉眼可见时间非常短,从几十分之一秒到几秒钟不等。由于水汽对光线的散射作用,凝结云在阳光下呈现白色或灰白色,特定角度下还可能呈现彩虹光晕。由此,这些凝结云也成了航空摄影爱好者追捧的“爆款作品”。