热点追踪

从俄罗斯为破解星链限制研发的“弹幕-1”平流层通信气球，到美军在波多黎各沿海常态化部署的“系留气球雷达系统(TARS)”，再到加拿大率先突破的气球发射无人机技术，当下，世界各国纷纷将目光投向高空气球这种云端“武器”。

就在一个月前，乌克兰将美制“大黄蜂”打击无人机与系留气球的搭配使用引发外界关注。在系留气球的“托举”下，该无人机可从约8千米的高空释放，有效航程从平时的150千米拓展至300千米。

这些兼具低成本、长航时、无人化优势的创新应用，正在让诞生百年的高空气球重新焕发战场活力。那么，高空气球为何近年来频频重现战场？当前发展状况如何？未来又将朝哪个方向发展？请看本期解读。

高空气球缘何重获战场青睐

■马 驷 吴家庆

性能契合当下战场需求

高空气球并非新生事物，早在20世纪30年代，苏联就进行过不少平流层气球试验，美国在冷战期间将其广泛用于遂行侦察任务。然而，随着卫星和无人机技术的兴起，高空气球的发展一度被边缘化。如今，它之所以能“强势回归”，主要原因在于其独特的性能优势恰好契合了现代战争的需求。

首先，高空气球拥有非凡的留空能力，运行成本较低。与需要持续消耗能源的飞机和无人机不同，高空气球依靠浮力升空，无需动力即可长时间滞空。乌克兰的Aerobavovna气球可在空中连续飞行7天，而前不久KaizenLabs公司推出的“空中哨兵”系留高空气球反无人机平台，集声学探测目标及发射拦截型无人机等功能于一体，可在1至2千米的高空长期驻留超过30天。这种“一次部署、长期值守”的特性，使高空气球成为执行持续监视、通信中继等任务的理想平台。同时，高空气球的制造成本和运行成本较低，即使被击落也不会造成太大的经济损失，不用担心人员伤亡问题。

其次，高空气球具备“站得高看得远”的天然优势。传统地面传感器受地形遮挡和地球曲率影响，探测范围有限。而高空气球升空后，视野广阔。美军的“系留气球雷达系统(TARS)”停留在3至4千米的高空，探测半径可达数百千米，能持续跟踪低空飞行器和水面舰艇。乌克兰的“空中哨兵”系留高空气球反无人机平台单机即可警戒超过50平方千米的区域。

再次，高空气球具有较好的隐蔽性和生存能力。现代高空气球多采用聚乙烯等轻质材料制造，雷达反射截面小，且无明显热信号特征，难以被雷达和红外探测系统发现。即使被发现，用昂贵的弹药击落它，经济上也不划算。

最后，高空气球的任务灵活性强。通过搭载不同的任务载荷，同一气球平台可执行侦察监视、通信中继、电子战、目标指示等多种任务。俄罗斯的“弹幕-1”平流层通信气球可携带重达100千克的有效载荷，包括通信站；加拿大的Eagle气球发射系统还可执行监视、情报收集、电子战等任务。

这些性能优势，让高空气球得以契合现代分布式作战理念。而俄乌冲突中双方使用战术气球的实践，已初步验证了这种契合的效用。

多点开花快速发展

当前，各国根据自身战略和战场需求，选择了相应的高空气球发展技术路径，并在更大范围内呈现出多点开花快速发展的态势。

从技术路径上看，当前各国的高空气球主要沿着两条主线并行发展。一条是技术成熟度高、应用广泛的系留气球路线。这类气球通过高强度复合缆绳与地面相连，能够在固定空域长期驻留，是执行区域持续任务的一大选择。如乌克兰的“空中哨兵”系留高空气球反无人机平台以及美军的“系留气球雷达系统(TARS)”等。另一条是发展潜力颇大的平流层自由气球路线。这类气球没有缆绳束缚，可升至20千米左右的平流层高度，通过利用不同风层气流实现大致定向移动，主要用于广域任务。如俄罗斯“弹幕-1”平流层通信气球以及加拿大的Eagle系统等。乌克兰利用气球发射战术实现“大黄蜂”打击半径翻倍，走的也是平流层自由气球路线。

从任务定位上看，高空气球的角色正从传统的侦察监视平台向多域作战节点延伸，形成更强的多任务能力。侦察监视仍是其核心任务，乌克兰的“空中方位角”系统搭载有被动信号情报设备，可探测半径37英里内的敌方无人机操作员位置，从源头上探知和应对无人机威胁；美军的“系留气球雷达系统(TARS)”可持续跟踪低空飞行器和水面舰艇，构建起海空监视网。通信中继当前已成为其重要任务。在卫星通信易受干扰的背景下，高空气球可作为“空中基站”提供应急通信保障，俄罗斯研发“弹幕-1”平流层通信气球的直接动因，正是为应对星链限制俄军使用带来的通信危机。反无人机作战是其新兴应用方向。乌克兰“空中哨兵”系留高空气球反无人机平台，利用集侦察与作战功能于一体、可在高空投放拦截载具等优势，响应速度大幅提升。

尽管各国的高空气球项目各有侧重，但也存在一些共同特征。一是模块化设计成为高空气球发展主流。通过标准化接口，高空气球可快速更换任务载荷，实现“一平台多用途”。如乌克兰“空中哨兵”系留高空气球反无人机平台，就具有3种差异化配置方案。二是智能化水平持续提升。一些高空气球集成了自主飞行、任务规划和故障处理能力，可大幅降低操作人员负担。如加拿大的Eagle系统，可在完全自主模式下运行，能自动调整飞行状态和发射时机。三是续航能力不断增强。通过优化气囊材料和升力设计，高空气球滞空时间屡创新高。

需要指出的是，高空气球并非单个装备，而是由地面控制站、数据链路和任务载荷等组成的完整系统。单个气球平台的能力有限，因此各国正在探索多气球协同模式，试图通过构建“气球星座”和网状网络，提升覆盖范围和任务韧性。如俄罗斯计划用小型“气球星座”解决单个气球平台视距受限的问题。乌克兰也在推进气球与地面传感器、防空系统的组网与融合。

多维赋能未来战场

随着技术不断进步，高空气球将在未来战场上发挥越来越重要的作用。未来的高空气球将不再是孤立的作战单元，而是深度融入联合作战体系，连接空、天、地、海战场的关键节点。

首先是进一步自主化、智能化。与其他无人装备一样，高空气球要适应未来复杂战场环境，就必须进一步提升自主飞行能力和环境适应能力，能够在复杂气象条件下长时间稳定运行。同时，人工智能技术的深度融合，将使高空气球能够自主感知战场态势、自主识别目标、自主决策并执行任务，真正实现“无人值守”作战。当前研发中的新型高空气球已开始探索与有人机、无人机的协同作战，未来还将成为混合航空兵力的重要节点，这对其自主决策和态势感知能力提出了更高要求。

其次是大载荷与多任务化。随着材料技术的进步，高空气球的有效载荷将进一步提升，能够搭载更多、更重的任务设备。除了现有的侦察、通信、反无人机等任务外，未来的高空气球还可能充当电子干扰、网络攻击等装备的空中平台，成为名副其实的“云端多面手”。还有人预测，未来将出现搭载电子战吊舱、激光武器的专用气球平台，实现从感知、干扰到打击的全链路存在。

再次是进一步提升战场生存能力。当前各国研发的高空气球，已经将提升战场生存能力作为研制的重要标准。今后，降低信号特征、增强抗干扰能力、提升通信导航系统的稳定性等，都将成为高空气球研发的方向。与此同时，高空气球还将在低成本化方面持续用力，进而具备一定程度上的“以量取胜”的不对称优势。

图①：乌克兰的Aerobavovna气球；图②：加拿大的Eagle系统；图③：美军的“系留气球雷达系统”(部分)。

本版供图：阳 舟

兵器扫描

K2巡飞弹。

无人机蜂群作战有了“百夫长”

——K2巡飞弹

■于政侠

今年5月，一款名为K2的巡飞弹在SAHA 2026土耳其防务与航空展上正式亮相。

这款巡飞弹由土耳其拜卡公司研制，其专为集群协同作战而设计，已于今年4月完成飞行演示。

土耳其此前已研发出多种类型的巡飞弹，并在近年来发生的多场武装冲突中取得战果。随着伊朗将“见证者-136”无人机投入实战，土耳其又将目光投向了具备远航程、重载荷能力的自杀式无人机。

K2巡飞弹就是按“继承并有所发展”思路研发的此类武器装备。作为一种翼展10米、机身长度5.1米的内燃机动力巡飞弹，K2的续航时间超过13小时，航程突破2000千米，有效载荷超过200千克。这种性能，让它有条件打击更远距离的重要目标。

K2巡飞弹最鲜明的特点，是其具备人工智能集群协同能力与无卫星导航信号时的自主导航功能。另外，与“见证者-136”远程单向无人机的定位有所不同，K2巡飞弹的研发者还在进一步探索，企图赋予其回收与复用功能。

该巡飞弹配备基于AI的飞行导航与视觉目标识别系统。有条件时，使用者可借助视距通信和卫星支持的超视距通信方式，对其进行指控。在无GPS信号时，它可以依托机载光电/红外传感器与下视摄像头，采用视觉地形匹配技术，自主解算位置、自主导航飞向目标。

此外，该巡飞弹还被赋予“协同飞行”能力，多架同型机可组成编队执行任务，可与异构无人机/巡飞弹组队，“取长补短”地执行综合打击任务。

在今年4月的飞行演示中，该巡飞弹与轻型消耗型巡飞弹、中空长航时情报侦察监视(ISR)平台一起，构建起三级协同打击网络。其中，轻型“蚊子”巡飞弹，作为消耗型突击单元，执行饱和打击任务。TB2、TB3以及“游隼”无人机提供情报侦察监视与协同指挥支持服务。K2巡飞弹则负责打击远距离的重要目标。

按照相关设计，该巡飞弹还可和“蚊子”巡飞弹、长矛(Mizrak)无人机一起组成分层打击作战体系，实现阶梯式交战，通过层层压制逐步瓦解对手的防空体系。

这种模式中，作战进度由远程情报侦察监视与协同指挥支持平台统一把控。TB2无人机则充当指挥节点，负责任务的分配和对各无人机单元发起打击行动进行排序。

值得一提的是，K2巡飞弹上述作用的发挥，是基于分布式蜂群架构而非集中式管控，其任务分配也属于分布式智能调度。这就意味着，即使一个K2巡飞弹被击落，也不会影响蜂群打击的效能。

某种意义上看，K2巡飞弹的问世，标志着巡飞弹的发展正在出现新变化。古代兵团作战，常以百人组队，带队指挥冲锋的名为“百夫长”。K2巡飞弹的作用发挥，恰如无人机实施蜂群作战时的“百夫长”，其定位已不再局限于一次性巡飞弹，而是转变为一种可组网实施协同打击、具备更强战场生存能力的弹药或平台。但其今后实战表现究竟如何，尚需进一步观察。

兵器知识

机载定向红外对抗系统——

应对红外导弹打出“组合拳”

■吴志峰 张正斌

今年4月，伊朗公布的一个视频显示，该国人员从美军自行炸毁的MC-130J特种运输机残骸中，回收了一台近乎完好的AN/AAQ-24大型飞机红外对抗系统(LAIRCM)激光干扰转塔。该系统由诺·格公司制造，是美军现役第四代定向红外对抗系统(DIRCM)的核心装备。

那么，什么是定向红外对抗系统？从名称上来看，它是专门用来对抗红外制导导弹(以下简称“红外导弹”)的一种装备。所以，要想了解定向红外对抗系统，首先要知晓红外导弹的作战机理。

红外导弹属于被动探测型精确制导武器，主要通过感知目标的红外辐射能量来探测、识别、捕获和跟踪目标，并引导导弹实施攻击，广泛用于空空拦截、地空防御、单兵防空等作战场景。以便携式红外防空导弹为例，即使其存在射程与射高范围有限、使用中易受云雨雾影响等固有缺陷，但它仍是低空飞行器的主要威胁。2024至2026年，苏-30SM、苏-35、F-15E、F-35A等多款先进军机均有过被便携式红外防空导弹击伤、击落的案例。

为更好地应对红外导弹带来的威胁，机载定向红外对抗系统应运而生。该系统主要由导弹告警传感器(MWS)、综合处理器、精密跟踪/激光转塔三部分组成。在这方面，美军的AN/AAQ-24具有一定代表性，其采用紫外告警粗定位、红外跟踪精对准、调制激光干扰导引的方式，整套流程全自动完成。与传统方式相比，定向红外对抗系统更像是一套“组合拳”，整个流程反应快、能量集中，应对效率显著提高。

实际作战中，单台激光转塔通常会优先干扰威胁最大的1枚导弹，转塔数量决定系统瞬时对抗目标的上限，来袭弹空间分布、系统告警跟踪通道与算力水平等则决定着其短时间内轮番对抗多目标的上限。另外，定向红外对抗系统如果与战术路径规划、战术机动、红外诱饵与全向红外干扰协同使用，应对红外制导导弹的效果还会进一步提高。

不过，定向红外对抗系统现阶段也存在多项技术与应用短板。比如，设备成本高，整体体积、重量偏大，若搭载于战斗机，会明显影响战机机动性与航程，以及仅能干扰红外制导武器，或是多模制导弹药的红外导引部分，对无人机、激光制导导弹、光纤制导导弹以及红外特征弱的常规弹药均无能为力，等等。目前该系统主要适配运输机、加油机、特种军机以及各类直升机。受技术瓶颈限制，除俄罗斯苏-57外，战斗机极少原生搭载。