

低轨星座攻防加速走向战场

■丰松江　王晓艳

瞭望台

据媒体报道，近期的俄乌冲突中，集成“星链”终端等的乌军无人机持续威胁俄纵深高价值目标。作为反制，俄军开始部署“波穹保护”电子战系统，通过构建重点目标空域电磁防护网防范无人机。各方围绕低轨星座的攻防日益成为战争常态，推动太空战从战略威慑层面下沉至战术打击层面。相关事实表明，低轨太空战时代正加速到来。

星座赋能，实战价值持续释放

依托传输时延短、组网规模大、部署机动灵活等优势，低轨星座像一张铺在几百公里高空的通信侦察大网，深度融入侦察监视、战术通信、精确打击、导弹预警等作战环节，在多场局部冲突中展现突出的实战价值。

嵌入战术指挥体系。俄乌冲突初期，乌军地面通信系统和基站被大量摧毁，“星链”系统成为乌军应急通信的重要手段。2023年以来，乌军开始大批量装备“星链”终端，并将其下沉到班排级和无人机班组，构建“无人机侦察—星链实时回传坐标—海马斯/炮兵远程打击”的杀伤链，实现“侦察—定位—打击”闭环的分钟级响应，成为乌军“订单式”打击和信息化作战核心支柱。2024年，叙利亚反对派武装在快速推翻巴沙尔政权的过程中，通过“星链”建立不受地面基站限制的指挥链路，从伊德利卜等大后方指挥中心，远程指挥控制反对派武装精准绕开政府军重兵设防区域，快速穿插打击政府军后方关键区域，迅速掌握全国政权。

拓展无人作战半径。具备“动中通”能力的“星链”终端集成到无人平台，被分析人士视为俄乌冲突中最具革命性的军事创新。相关报道称，乌军将“星链”终端等集成至远程自杀式无人机，实现对千余公里外目标的精确打击，打击范围从大型舰艇、战略轰炸机，延伸至能源交通枢纽、物流中心等关键基础设施，使低成本无人机从战术工具升级为影响对手纵深安全的战略力量。俄方为补齐天基战术通信短板，同步推进低轨星座部署，今年5月，将自主研制的“黎明”低轨卫星通信系统投入实战，为前线无人机提供通信中继。

重塑杀伤链条。低轨星座打通了情报、指控、杀伤环节的信息壁垒，推动传统线性“杀伤链”向去中心化的“杀伤网”演进，极大压缩了决策周期，提升了体系韧性。美以伊冲突中，美军低成本LUCAS无人机在“星链”支撑下，实现“人在回路”的远程奔袭与实时画面传输，打破了传统低成本无人机受限于地面中继的局面，让后方操作员能实时操控一线无人机，极大压缩杀伤链闭环时间。

多元并行，构建多层反制体系

巨型低轨星座卫星数量庞大、分布式冗余部署、组网韧性强，单一对抗手段难以实现全面压制。为此，主要军事强国聚焦空间段、链路段、地面段全链路突破，构建起“侦、扰、拒、毁”多层级反制体系，形成电磁软杀伤、动能与定向能硬杀伤、网络渗透、地面设施破袭多元并行的发展路径。

电子干扰属于“软杀伤”，技术成熟、成本可控，不会产生太空碎片，在局部冲突中被广泛运用。俄乌冲突中，俄方大量使用集成探测定位与干扰功能的“白芷”电子系统，在10公里作战半径内，实时锁定并压制乌军“星链”终端，并能引导火力实施精确攻击。不同于以往只干扰地面卫星接收终端，俄方称其新型电子战系统“波穹保护”可直接压制天上低轨卫星的接收天线，从而切断战区内“星链”通信，该系统经实战检验后已经批量生产并列装部队。美国太空军今年6月完成“梅多兰兹”陆基卫星通信对抗系统作战验收。这套可机动部署的信号干扰装备，能够同时干扰多颗低轨卫星的多个频段，是美军制衡低轨星座的重要软杀伤装备。

动能反卫星是大国太空威慑的战略底牌。美国在此领域具备长期技术积累与多次成功试验记录，1985年使用F-15战斗机发射ASM-135导弹成功击毁低轨卫星，2008年使用“标准-3”导弹拦截故障卫星。俄罗斯“努多利河”直升式反卫星系统可拦截200至2000公里轨道目标，2021年完成低轨航天器实弹摧毁试验。但由于点对点动能打击成本高，且会产生大量太空碎片，这一手段更多体现在战略威慑功能上。

定向能武器主打“毁功能、不毁平台”的精准杀伤模式，适配现代太空低烈度对抗需求。俄方称其列装的“佩列斯韦特”陆基激光系统能够瞄准并瘫痪轨道高度在1500公里范围内的卫星光学载荷。多国定向能反卫星装备研发部署节奏持续加快。

地面段破袭直击星座运行根基，发挥重要辅助作用。俄乌冲突中，乌军依托远程精确弹药打击俄罗斯进步火箭航天中心相关厂区，影响俄方低轨卫星总装、发射和保障能力，延缓其星座补网迭代节奏。同理，“星链”在欧洲的地面信关站作为整个系统“咽喉节点”，也容易成为打击目标。

此外，一些国家聚焦卫星测控中心、运维平台和星上载荷程序，尝试渗透低轨卫星地面终端漏洞开展网络攻击。

对抗升级，太空安全秩序待构

伴随低轨星座攻防日益成为战争常态，这场角逐将深刻影响现代战争样式与太空安全秩序，相关动向可以从三个层面进行观察。

智能技术将在低轨星座攻防博弈中大显身手。未来太空战主动权将取决于AI模型算力、训练数据和迭代速度。低轨星座电磁对抗将从“预先存档比对”升级为“实时自主学习”，依托超强算力实时完成信号捕捉、特征分析、威胁研判，自主生成干扰策略、完成压制任务。在电子压制低轨卫星方面，俄方已从静态阻塞转向算法驱动干扰，融入人工智能优化信号识别。

体系韧性建设成为大国建设低轨航天能力的重要方向。面对越来越多针对低轨星座的对抗手段，一些国家聚焦天上卫星、通信链路和地面设施防护，持续打造技术完备、机制配套的弹性综合防护体系。天上卫星方面，推广卫星之间激光通信，减少对地面测控站的依赖，同时升级卫星软硬件，支持软件远程配置和星上智能自主抵御软杀伤威胁。在地面段，把测控中心、卫星总装厂房等关键设施分散布置、多重防护，同时推动军、政、商航天力量协同，打通技术标准、风险预警、应急调度渠道。

全球太空治理面临重构压力。一是低轨空间环境持续恶化。部分业内专家认为，低轨空间容量有限，卫星部署上限约为10万颗。当前，低轨轨道上已有超过1.2万颗卫星，加上全球数以万计的计划中待发射卫星，轨道拥堵问题将进一步加剧，碰撞风险和太空碎片问题也将更加严峻。二是技术模糊性持续冲击安全边界。在轨对接、碎片清除等活动与反卫星行动技术同源，无法从能力中直接读出意图。加之低轨星座建设与反低轨作战技术持续迭代更新，各类新原理、新形态、新装备将不断涌现。现行《外层空间条约》等国际公约，无法适应低轨星座对抗的新场景。三是外空军备竞赛风险加剧。个别霸权国家公开将太空界定为“作战疆域”，不仅利用低轨卫星提供战场通信等服务，还推进包括动能反卫星等在内的太空对抗手段，严重冲击太空安全秩序。

（作者单位：航天工程大学）





图①：美国太空军装备的“梅多兰兹”陆基卫星通信对抗系统。

图②：乌克兰士兵布设“星链”终端。

本版图片均为资料图片

评论区

『以地制天』成为反低轨星座有效途径

■王晓艳　陈　宁

巨型低轨星座大规模部署，正重塑太空域博弈格局。以往反太空作战思路多聚焦于直接打击在轨卫星，然而巨型低轨星座卫星数量庞大、分布广、机动灵活。分析人士认为，实施地对天、天对天摧毁代价高昂、实施难度大，需积极探索新的对抗手段。

今年8月，乌军精准打击了俄罗斯进步火箭航天中心的火箭工厂。乌方称，该工厂主要负责生产搭载“黎明”宽带互联网卫星的运载火箭，攻击旨在削弱俄战争潜力。此次攻击表明，地面破击正逐步演变为反低轨星座作战的新范式，太空对抗的博弈焦点，正从浩瀚太空延伸至地面体系节点。

低轨星座并非单纯由天上无数卫星构成的离散集群，而是“天地一体”的完整作战体系。卫星在轨运行离不开地面测控站、信关站、运控中心、发射设施等一系列地面支撑节点。海量低轨卫星可以批量补网快速替补，但地面核心设施建设周期长、投入成本高、地理位置相对固定，难以快速批量生成。现阶段，通过摧毁或者瘫痪关键地面枢纽，便可切断星座指令下达、数据回传、任务调度链路，即便在轨卫星完好无损，整套星座也会丧失实战效能。这揭示了“以地制天”在反低轨星座作战中发挥效用的核心机理，即不与海量在轨卫星直接对抗，转而打击体系链条上脆弱的地面支点，实现“击其枢纽、瘫其全域”的作战效果，用相对可控的代价达成压制低轨星座的作战目的。

美国今年出台的《太空作战环境2040》报告，同样印证了这一作战趋势。这份文件一方面明确将对手低轨星座地面基础设施列为重点作战打击目标，把攻歼地面节点纳入未来太空作战的重要选项；另一方面着重强调，必须强化自身低轨星座地面系统韧性建设，通过加固防护、多域备份提升生存能力。分析人士表示，美方在攻防两端同步关注地面设施，说明直接猎杀在轨低轨卫星的作战路径存在现实制约。面对动辄成千上万颗卫星的巨型星座，想要通过天基拦截、在轨毁伤实现体系压制，无论从装备规模、经济成本还是战术可行性、舆论法理上都面临巨大障碍。相较之下，瞄准地面关键基础设施实施打击，手段多元、门槛更低、实战可行性更强，已然成为大国博弈中反制低轨星座的可选路径。

战场现实倒逼理念迭代。既然地面破击已经成为反低轨星座的重要作战范式，那么守护航天地面基础设施安全，就等同于守护整个低轨星座体系的生存根基。如果将太空安全重心更多放在在轨卫星防护，那么就可能导致对地面配套设施面临的火力打击、网络攻击风险重视不足。这就需要转变“重天轻地”的太空防护思维，统筹推进综合一体的防护体系建设。

太空对抗从来不是单一维度的天上对决。低轨星座时代，体系对抗贯穿天地两端。既要盯紧轨道之上的博弈，更要守牢地面体系根基。只有实现天地协同防护，加强地面基础设施生存能力建设，才能筑牢低轨星座体系安全底座，牢牢掌握太空博弈的战略主动。

认知小站

“静止”卫星不再“静止”

在地球上的观测者看来，地球静止轨道（GEO）卫星在太空中是固定不动的。这种相对“静止”使其成为易追踪的目标。为提高GEO卫星执行任务时的安全弹性，一些国家正通过部署GEO星群、增强GEO卫星自主机动能力等措施，实现GEO的“动态化”转型。

商业航天并不“商业”

很多人认为，商业航天主要是以市场化为导向的航天运行模式，重点提供航天发射、通信导航、航天遥感、太空旅游等商业服务。不过，近年来国外商业航天的发展运用表明，其具备“一星双籍、一体多能、一键切换”的军民两用潜力。“能商尽商”正在成为美军太空弹性体系建设的一个重要路径，国际社会对此高度关注。

太空探索并非“无限”

太空广袤无垠、浩瀚无边，但人类的太空探索利用并非无所限制，而是存在诸多“战略要冲”。随着各国航天事业的飞速发展和太空开发利用的不断深入，有限的轨频资源、关键的太空“交通线”、俯瞰全球天域的“战略高地”、飞向深空的星际“高速公路”以及月球、火星等天体蕴含的稀缺资源，正在成为战略博弈的重点。

资料整理：张婷婷

版式设计：胡云艳

从“梅多兰兹”入列看美军反卫星作战建设

■况腊生　钱　旭

焦点CT

据外媒报道，今年6月，美国太空军作战司令部完成首套“梅多兰兹”陆基卫星通信对抗系统的作战验收，该系统已具备实战部署条件。8月，美太空军组建第1电磁战中队，同时操控“梅多兰兹”和“赏金猎人”两套武器系统。相关动向表明，美国为维系太空优势，正加速推进反卫星武器发展从概念验证走向实战能力生成。

“梅多兰兹”是由L3哈里斯技术公司研制的一款可逆、非动能太空电子战装备，可探测、干扰、削弱甚至致盲敌方卫星。“赏金猎人”则作为信号侦听站与防御型电子战系统，负责探测、信号特征分析、地理定位，并且上报针对己方卫星通信发起的电磁干扰和信号阻塞活动。

从技术演进看，两套系统通过多轮升级迭代，更加敏捷、智能、易于集成与部署。美太空军宣称“梅多兰兹”是原版本反卫星通信系统的一次关键性升级，设备体积更小、机动性更强，实际操作与系统升级的便捷性也有显著提升。得益于开放式架构与软件定义无线电技术，“梅多兰兹”支持对分布式干扰单元的远程管理及软件升级。单名操作员依托中央节点，还可对全球范围内多套干扰单元进行统一管控与任务调配。值得关注的是，“梅多兰兹”系统已被列入美国政府对外军售计划清单，获准向“五眼联盟”及北约等核心盟友出口。通过盟友采购与列装，在全球关键地域构建分布式干扰节点网络，将增强联盟在太空领域的威慑与实战效能。美太空军将“梅多兰兹”和“赏金猎人”系统整合至同一个任务部队下，旨在形成统一的作战力量，为提升太空对抗能力提供支撑。

从体系布局看，无论是新型反卫星武器的入列还是电磁战中队的组建，都是美国构建多层次、一体化反卫星作战体系的重要组成部分。美太空军2025年发布的《太空作战：规划者框架》，明确将发展进攻性反太空作战作为核心职能，作战范畴覆盖轨道打击、太空链路阻断、地面节点打击等，呈现出明显的体系化、实战化发展态势。

在电子干扰方面，除上述反卫星系统外，美军还研发了一款分布式远程电子战平台，与“赏金猎人”监测网络进行协同，实时探测并识别敌方卫星信号特征，为干扰行动提供目标参数，实现电磁频谱的有效管控。此类装备共同构成美军实施全时段太空电磁战、夺取并保持频谱优势的主要能力。

在共轨式反卫星能力方面，美军依托“地球同步轨道空间态势感知计划”卫星、X-37B空天飞机等在轨平台，以及“轨道快车”等项目，系统验证了高精度轨道机动、自主交会、抵近侦察操作等技术，相关技术具备转化为实战化共轨对抗的潜在能力。

在直接上升式动能反卫星武器方面，今年9月美空军首次公开证实，拥有涵盖动能手段在内的在轨太空控制武器，即通过发射拦截弹，以动能碰撞方式物理摧毁目标卫星。美国国会研究服务处发布的一份报告也曾指出，美国现有的弹道导弹防御系统可能已经具备摧毁近地轨道卫星的潜在能力，形成事实上可快速启用的战略威慑与实战储备。