



“幻影扭曲”无人机靠动态旋转实现隐身



飞行中的“幻影扭曲”无人机（图中黄圈内）身影模糊，与背景几乎融为一体。

据外媒报道，美国西北大学推出一款名为“幻影扭曲”的无人机，它没有采用透明材料或特殊涂层，只是通过高速旋转，让机体形态变得模糊，在人的视角中失去清晰的轮廓，从而达到隐身效果。

“幻影扭曲”无人机利用的是人类视觉系统的固有局限。人眼在把整个场景的视觉信号送去大脑处理前，需要花一段时间（通常约100毫秒）整合看到的画面。如果物体移动得够快，眼睛就会被迫把这段时间内的运动“平均化”，与背景融为一体，产生一种透明的模糊感，这种现象叫视觉暂留。生活中最常见的例子就是高速旋转的风扇叶片，叶片没有消失，只是人的视觉系统跟不上它的运动速度，才逐渐从清晰的结构变成一团模糊的影像。

“幻影扭曲”无人机正是利用这一机制。它以每秒15到25圈的速度旋转，螺旋桨朝一个方向转，机身其余部分则朝相反方向转。为实现精准控制，该机整机重量仅30克，只有一个电机，一个螺旋桨，没有任何舵面。研发团队使用人工智能设计了2万个机身方案，再反复试飞调整零件，寻找“最难被看见”的结构。

它的控制逻辑是这样：整个飞行器持续旋转，系统在每圈旋转中的特定时刻短暂提高或降低电机转速，借此改变受力情况，让无人机向某个方向产生微小偏移。因为机身一直在转，这种瞬时的推力变化会被分散到不同方向上，累积起来就变成了一段可控的平移运动。高度控制更直接，调节电机的整体推力大小，无人机就能上升或下降。

研究人员强调，“幻影扭曲”无人机距离真正意义上的隐身无人机还有很大差距。目前，它只能降低视觉可见性，并不能隐藏其他信号。另外，它仍依赖外部光学跟踪系统完成精确控制，不能像普通无人机那样，在开放环境下自主飞行。不过，这种旋转结构具有进一步发展潜力。

新型“猫重导弹”专用拦截小型无人机



CM-70 轻型精确制导导弹。

据外媒报道，加拿大一家初创企业推出CM-70轻型精确制导导弹，重量仅相当于一台笔记本电脑，专门用于拦截小型无人机。这款被外界称为“猫重导弹”的新武器，折射出反无人机作战正在从“以大博小”转向“以小博小”的成本逻辑。

据报道，CM-70全长0.9米，重量仅3千克，最大飞行速度900千米/小时，最近拦截距离3.5千米，采用半主动激光制导，战斗部采用前向破片设计，接近目标时破片杀伤威力集中在前方，提高对小型无人机的命中概率。由于依赖外部激光照射器“指路”，该导弹未搭载GPS模块、不依赖无线数据链，在卫星信号被压制、通信被截断的拒止环境中仍可正常飞行，全程保持“无线电静默”。此外，该导弹具备多平台适应性，既可从地面阵地发射，也可集成到车辆或空中平台发射。

CM-70的核心竞争力在于性价比。以往用防空导弹拦截廉价无人机的代价悬殊，一枚“爱国者”拦截弹单价约400万美元，而小型无人机单价仅数万美元。设计人员称，CM-70使得用廉价的精确制导导弹应对无人机威胁成为现实，将弥补防空导弹的不足。半主动激光制导并非新概念，CM-70的价值在于将小型化、抗干扰、低成本等特性集中于一款量产产品。在无人机威胁日益突出的背景下，这种低成本精确制导导弹能够支持反无人机消耗战。

（宁国强）

低轨星座成为太空博弈新阵地

■于 斌

据报道，亚马逊旗下卫星互联网公司近期向美国联邦通信委员会提交申请，计划部署最多5105颗低轨卫星，用于构建“卫星直连终端”通信网络，预计2028年初上线。这是继太空探索技术公司之后，又一家美国科技公司加入低轨卫星直连移动终端服务。

值得关注的是，目前低轨卫星的运用已经远远超出商业范畴。尤其是在地区冲突的推动下，低轨卫星已经从商业通信工具转变为军事战略资产。近年来，多国大力发展低轨星座，围绕低地轨道的新太空竞赛已悄然展开。

技术突破推动星座部署

大多数通信卫星运行在距地面约3.6万千米的地球静止轨道。在这一高度，理论上只需3颗卫星即可覆盖全球除两极附近外的大部分区域。其缺陷也很明显：信号往返时延达500毫秒，对于实时通话、远程手术等低延迟场景几乎无法接受。相比之下，低轨卫星运行在距地面300至2000千米的近地空间，信号往返时延仅为20至50毫秒，与地面光纤宽带时延水平相当。缺点是由于轨道高度大幅下降，单颗卫星的覆盖范围急剧缩小，若要实现全球连续覆盖，则需要数百乃至数万颗卫星组成星座协同工作。

过去，大规模低轨卫星的制造、发射与运行成本非常高，直到近10年来相关技术的突破，才从根本上改变这一局面。一是卫星实现小型化与流水线量产。通过标准化设计和批量生产，单颗卫星的制造成本从数亿美元降至数十万美元级别，以星链V2 mini卫星为例，单星成本约80万美元。二是运载火箭可重复使用。以美国太空探索技术公司猎鹰9号为代表的可回收火箭，大幅降低了卫星发射成本，使得大规模组网发射在成本上具有可行性。三是激光星间链路技术出现。该技术使卫星之间可直接进行高速数据交换，无需依赖地面基站中转。

上述三项技术叠加，使得低轨星座从纸面构想变成商业现实。近年来，多国航天力量纷纷加速低轨星座组网部署。美国太空探索技术公司的星链计划总共规划4.2万颗卫星，目前已部署超过7000颗，是全球规模最大的低轨星座；亚马逊公司旗下卫星互联网公司计划部署5105颗卫星；英国“一网”低轨星座已部署648颗，并启动全球商业服务；欧盟“多轨星座项目”将投资60亿欧元，构建自主可控的卫星星座。据公开数

据统计，截至2026年7月，全球在轨运行的低轨通信卫星总数已突破1.2万颗，同时仍以每年数千颗的速度持续增长，低轨空间进入前所未有的密集状态。

地区冲突加速战场应用

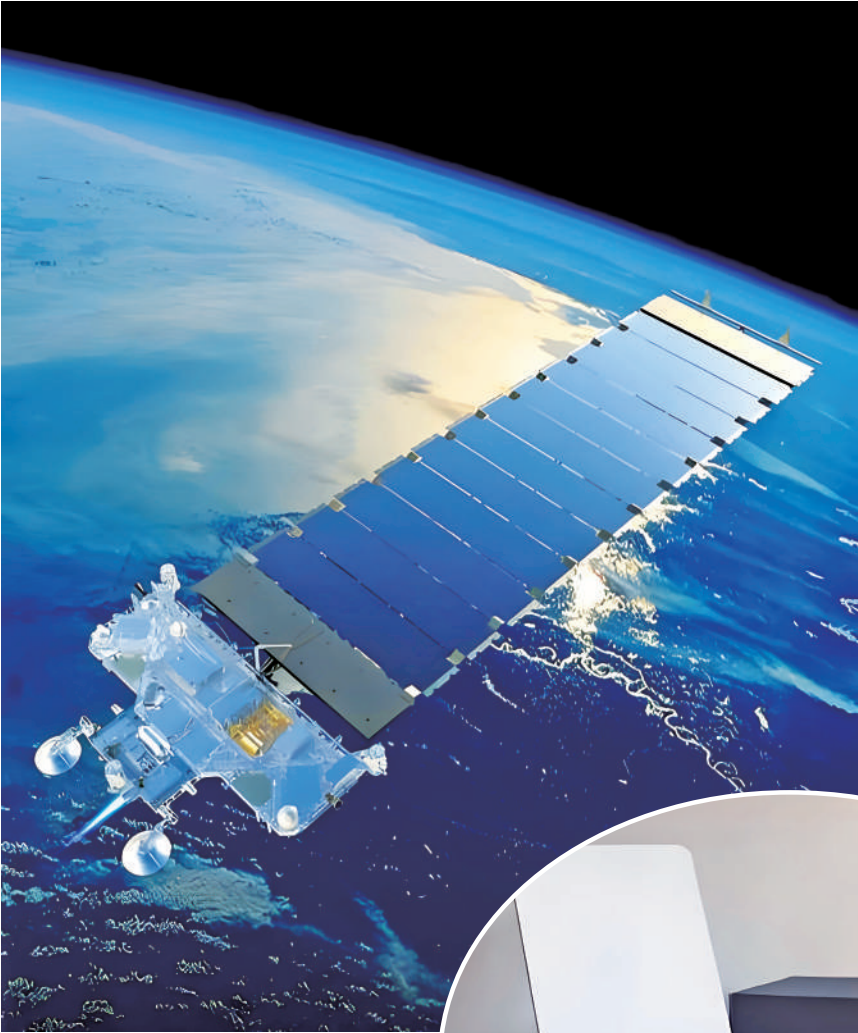
如果说此前低轨星座的军事潜力还是理论推演，近年来的地区冲突提供了大规模的实战样本。在地区冲突中，低轨星座展现出传统军事通信手段难以比拟的作战优势。

抗毁性强。传统战术通信依赖固定的地面枢纽站和中继链路，是敌方首轮打击的优先目标。低轨星座由数百至上万颗分布式卫星构成网络，即使部分节点被摧毁，整个系统仍可正常运行。更重要的是，用户终端是“平板式”相控阵天线，部署时只需通电对准天空，信号特征弱，几乎无法被电子侦察设备定位。

响应速度快。以星链为例，俄乌冲突爆发后，星链从“商业服务”切换至“战区通信保障”仅用数天。这种快速响应能力是传统军用通信卫星无法比拟的。其带来的启示是：当低轨星座规模足够大、终端足够便宜时，将商业星座军事化比重新打造军用星座更加高效。

重塑“发现—打击”链条。在俄乌冲突中，乌军将星链与无人机、火炮系统集成，前线无人机拍摄的实时画面通过星链回传后方指挥所，供炮兵进行快速目标识别与火力分配。过去，这一过程可能需要花费数小时，如今仅用数分钟即可完成。换句话说，星链将战争的OODA循环（观察—判断—决策—行动）压缩到前所未有的程度。

然而，低轨星座参战也暴露出依赖商业星座带来的深层风险，即当关键军事通信能力由国外企业掌握时，一国战略自主将无从谈起。俄乌冲突以来，多国全面转向开发低轨星座的军事价值。



星链卫星。

美国太空探索技术公司在星链计划的基础上，推出面向政府和军方客户的“星盾”计划。美国太空发展局的“扩散作战人员太空架构（PWSA）”，是另一重要的军事航天工程，计划通过大规模部署低轨星座，为联合部队提供天基网络支持。欧洲的“多轨星座项目”由覆盖面积更大、抗干扰能力更强的中轨卫星提供通信保障，本质上是披着民用外衣的军事安全通信网络。俄罗斯的“球体”计划直接服务于战场，其“马拉松”星座可以无缝对接分散部署的装备，实现战场态势感知网络化。

多维使用改变战场通信

低轨星座在军事领域的影响是多层级的。在战术层面，最直接的影响是让“连接一切”成为可能。以往战场上，通信层级分明：营连级使用电台，旅级使用中继通信，更高层级借助卫星，不同层级之间信息流转缓慢。低



星链卫星接收终端。

轨星座以高通量、低时延和终端小型化，使前线士兵可以直接接入战役级指挥网络，战场信息流动不再受到层级限制。

无人机集群作战是低轨星座赋能的另一体现。未来冲突中，成百上千架无人机将组成智能集群协同突防，这种作战样式需要超低时延、超高带宽的通信网络作为“蜂群神经中枢”，低轨星座恰恰能提供这种能力。星间激光链路技术让数据传递突破了地理限制，高带宽与低时延特性能够支撑无人机集群大规模协同行动。

在战役层面，低轨星座正在改写

“反介入/区域拒止（A2/AD）”作战方式。长期以来，支持远程兵力投送与海外作战指挥的大型固定通信设施和长波电台，因信号特征明显、位置相对固定，在高对抗环境下极易被对手定位和摧毁。低轨星座凭借分布式架构，从根本上破解了这一难题。数千颗卫星组成的通信网络无法被轻易摧毁，从而为地面用户终端提供通信保障。

在战略层面，低轨星座带来的最大变革，在于推动战场走向透明化。数以万计的通信卫星在近地轨道以编队方式高速飞行，构成全球实时监测网络，使地面任何大规模军事调动无处遁形。这种持续的广域监视能力和低延时特性，使得“发现即摧毁”正在变为现实作战准则。

快速发展面临挑战隐忧

低轨星座的军事化趋势难以阻挡，但也伴随着不可回避的风险与挑战。

低轨轨道容量有限，国际电信联盟采用“先到先得”原则分配轨道频率资源。当前，这一轨道上已有超过1.2万颗卫星，加上数以万计的计划中卫星，轨道拥挤已成为现实。随着星座规模持续膨胀，随之而来的碰撞风险、太空碎片问题将更加严峻。

另外，商业卫星军事化的做法模糊了商业航天与军事行动的法律边界。根据现行国际法，民用卫星的“军民两用”特性使其在冲突中可能被视为合法军事目标。这意味着一旦冲突升级，商业卫星可能面临被攻击的风险，而目前国际上缺乏针对此类情况的明确规则与危机管控机制。为此，各国在加速发展低轨星座的同时，还在积极发展反卫星能力。这种“矛”与“盾”的迭代升级，正在将太空变成新的军备竞赛场。

低轨星座正在成为人工智能和无人时代最重要的军事基础设施之一。它带来的改变是对整个战场信息环境的彻底重构：信息流动的速度、广度和抗毁性将达到前所未有的水平，这是一种足以改变战场走向的战略能力。对任何国家而言，这种能力都必须牢牢掌握在自己手中。

子对抗系统，经过升级改造后移植到EC-2上。信号情报侦察与分析系统用于对电磁环境进行实时监测、分析和记录，为干扰行动提供目标参数。高级无线电波测量系统专门用于电子情报和信号分析，提升对复杂电磁环境的感知能力。

EC-2的核心作战能力是“防区外电子攻击”。理论上，该机无需深入敌方领空，而是在敌方防空系统射程外，利用大功率电子系统干扰和压制对手的雷达、通信网络、导航和瞄准传感器，支援己方制空作战。

不仅如此，根据日本防卫省的声明，未来EC-2将与RC-2电子情报飞机协同作战。RC-2主要用于情报搜集，包括探测、识别和定位雷达等电子辐射源。这些情报用于确保EC-2实施精确的电子干扰，压制或瘫痪目标。这种“RC-2侦察感知、EC-2干扰压制”的协同模式，将构成日本空中电子战体系的核心。

EC-2服役后，将部署在位于埼玉县入间基地的电子作战战群，接替退役的EC-1。从数量上看，日本计划采购4架EC-2，较之前仅1架EC-1，机队规模扩大4倍。从质量上看，EC-2的作战半径、干扰功率和任务持续时间均获得较大提升。日本防卫省官员表示，从单一电子战飞机过渡到能够支持持续任务的小型作战机队，EC-2的服役，标志着日本航空自卫队电子攻击能力的根本性转变。

EC-2电子战飞机从研发到试飞，再到即将服役，表面上是一款技术装备的更新换代，实质上却是日本军事战略转型的关键一步。从1架EC-1到4架EC-2，从单一平台到与RC-2协同的体系化电子战能力，日本正以电磁频谱为突破口，构建覆盖侦察、干扰、压制的全链条电子战体系。对此，周边国家应予以高度警惕。

与情报飞机协同行动

EC-2的电子战系统融合日本本土技术，目的是保持作战独立性，且限制敏感技术的披露。其核心设备包括J/ALQ-5Kai电子对抗系统、信号情报侦察与分析系统，以及高级无线电波测量系统。其中，J/ALQ-5Kai电子对抗系统源自EC-1上使用的J/ALQ-5电

日本新一代电子战飞机加速试飞

■邹宗仁

近日，日本航空自卫队新一代防区外电子战飞机EC-2在岐阜空军基地密集展开飞行测试。这架被外界戏称为“全球最丑”的战机，正加速走向服役。它的出现，标志着日本航空自卫队电子战能力正经历代际更替，同时折射出日本大力发展电磁频谱作战能力的野心。

基于先进平台改装

在EC-2之前，日本航空自卫队唯一的防区外干扰平台是EC-1电子战飞机，该机由于机龄较长，在载荷、航程和电子系统升级方面存在局限，与目前大型电子战平台的需求相去甚远。近年

来，日本防卫省意识到电磁频谱已经成为现代战争的攻防前沿，“确保电磁频谱领域优势是紧迫课题”。在这一背景下，EC-2项目应运而生。

EC-2基于川崎C-2军用运输机改装，继承了C-2的飞行性能和载荷能力。其机长43.9米，翼展44.4米，机高14.2米，配有2台通用电气CF6-80C2涡扇发动机，最大飞行速度0.82马赫，最大有效载荷36吨，最大起飞重量约141吨，携带20吨货物时航程达7600千米。与EC-1的原型机C-1运输机相比，C-2的最大起飞重量从45吨跃升至141吨，有效载荷从12吨提升至36吨，航程更是成倍增长。这种平台优势，为搭载大功率电子战设备和长时间滞空作战提供了基础。

EC-2机身上布满了各种因安装电子战设备形成的大型雷达罩和天线罩，被外界戏称为“鸭嘴兽”，主要包括机头大型球形雷达罩、机身上方大型整流罩和机身侧面整流罩。其中，机头大型球形雷达罩内部可能容纳雷达干扰天线，用于在飞机朝向目标飞行时实施干扰。机身上方大型整流罩内可能容纳卫星通信天线和干扰设备，机身两侧整流罩可能包含侧视电子对抗和电子支援设备，用于探测敌方雷达信号并实施干扰。此外，该机机身上还安装了导弹接近告警系统，作为自卫套件的一部分，提高在潜在威胁环境下的生存能力。



日本EC-2电子战飞机。