

证券研究报告
交通运输行业/行业深度报告
2025年9月30日

无人机反制系统

——奠定低空经济安全发展之基石

证券分析师：李景星 S0370522090001

行业评级：增持

目录



一、无人机反制——军民共促无人机发展，安全是首要前提

二、产业发展情况——公安采购带动需求，国内反无产品涌现

三、展望未来——多源融合的探测、识别、干扰与AI决策

相关上市公司

风险提示：低空产业发展不及预期；重点装备研发及交付不及预期；财政经费预算不及预期；市场竞争加剧



一、无人机反制

——军民共促无人机发展，安全是首要前提



1.1 无人机反制系统：低空发展安全基石

无人机反制 (Counter-UAS, C-UAS)：无人机反制是指用于探测、识别、跟踪、干扰、控制或摧毁对未经授权、具有潜在威胁或违规飞行的无人机 (UAV, Unmanned Aerial Vehicle) 进行管控，以阻止其进入特定空域、执行非法任务或造成安全风险的系统性解决方案，核心目标是 “保障特定区域空域安全，消除无人机带来的威胁”。随着低空经济产业和现代无人化战争的发展，军民两大领域合力催化无人机产业，无人飞行活动日益增加，无人机反制作为重要的安全保障和防御系统，是行业发展的一体两面，需求也相应增加。

- **民用领域：**在低空经济发展背景下，无人机飞行活动与日俱增，居民持有消费级无人机增加；商业活动（物流、外卖）及政务作业（警务、消防、水务、农业）中无人机同样大展身手，已成为常态化作业不可缺少的一环。相应地，需要对高频、高密、异构的飞行活动进行有效的监督和管理。
- **军用领域：**现代化战争中无人机已然作为主要作战武器，大中型无人机具有远航程、多任务、重载荷等优势，作用于大纵深战场；中小型固定翼无人机成为突防 “利剑”，可通过低空飞行突破对方防御，执行侦搜任务，引导地面火力打击目标；自杀式无人机为纵深打击提速增效，可探测对方防空火力部署，吸引防空火力，提升己方导弹的突防率，或突破对方防空火网，打击对方高价值目标。在俄乌战争中，无人机装备在侦察监视、目标指示、精确打击、电子战、认知战、舆论战等方面均发挥显著效果。因此，对于无人机反制是现代战争中的重要军事防御技术。

无人机反制系统主要包含探测识别和打击反制两大系统：

- **探测识别：**主要用于发现、识别、定位、跟踪无人机，第一时间对非合作无人机进行管控，主要采用雷达探测、无线电频谱、光电识别、声学识别、融合探测等方式。
- **打击反制：**又可以细分为“软杀伤”和“硬杀伤”两种方式。软杀伤主要通过干扰、诱骗等通信手段对无人机飞行进行扰乱、阻断，更多应用于民用领域。硬杀伤是对无人机进行物理干预，主要通过导弹、微波武器、激光武器、拦截网等手段进行拦截、摧毁和捕获。

图表：无人机反制系统



1.2 (1) 民用需求：低空飞行与日俱增，安全底线必须坚守

• 民用领域：

	2022	2023	2024
全年飞行量（万小时）	2067	2311	2667
注册无人机数量（万架）	95.8	126.7	217.7
无人机拥有者注册用户（万人）	70	92.9	161.9

• 商用领域（顺丰、美团为例）：

顺丰无人机运营数据

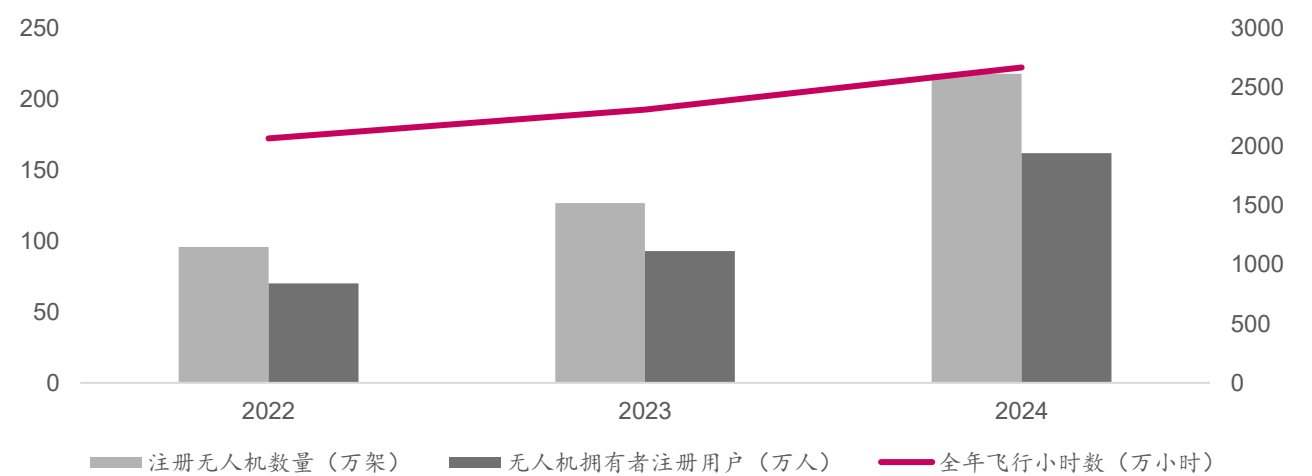
	2023	2024
累计航线（条）	N/A	600+
年飞行量（万架次）	80	110
飞行里程（万公里）	400	570
年配送件量（万件）	300	620+

美团无人机运营数据

	2022	2024
累计航线（条）	25	53
年飞行量（万架次）	N/A	21
年配送单量（万单）	10	20
累计单量（万单）	12	45

- 低空经济的爆发使得无人机飞行活动与日俱增，一方面是居民用于日常拍摄、旅游取景等，另一方面是企业、政府部门更多使用无人机开展物流运输、巡检、安防、农业浇灌、植保等活动，并逐渐发展为常态化作业。
- 未来，无人机飞行活动将呈现高频率、高密度、高异构的特征，有望达到单个城市每天超万架次的飞行作业量，这对无人机飞行活动的管理提出了新的要求，包括对于非合作飞行器的识别，对于飞行管制区域的监管，对于“哪些能飞、哪里能飞”做到有效控制，实现“看得见、认得清、拦得下、打得掉”的全面管制。

图表：近三年无人机飞行量快速增长



1.2（1）民用需求：低空飞行与日俱增，安全底线必须坚守

在低空产业蓬勃发展、无人机广泛应用的同时，我们也要看到其中的安全隐患。国家发改委于今年5月发布会上特别强调“安全是低空经济发展的首要前提”，明确定调“无安全，不低空”，提出在严控风险、确保安全的前提下，分类有序拓展低空经济应用场景，并特别提出打击“黑飞”现象。在低空经济发展早期《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》、《民用无人驾驶航空器系统安全要求》和《民用无人驾驶航空器运行安全管理规则》就已经相继出台，也可以看出国家在低空经济发展过程中将“安全”的重要性放在首位。我们总结，低空无人机飞行活动主要具备“四大威胁”：

- **安全威胁：**机场净空区无人机“黑飞”可能撞击民航客机，干扰飞机起飞；大型文体活动中无人机闯入可能引发人群恐慌或碰撞事故；
- **保密威胁：**无人机搭载摄像头、传感器，可能对军事基地、政府机关、企业核心厂区、监狱等敏感区域进行非法侦察、偷拍；
- **治安威胁：**无人机违规运输违禁品（如向监狱传递手机、毒品）、干扰公共秩序（如影响森林防火、电力巡检）；
- **军事威胁：**在战场环境中，敌方无人机可用于侦察、自杀式袭击、投放爆炸物，造成严重打击。

近年来，无人机安全威胁事件频发，对于低空安全的保障需求迫在眉睫：

尤其对于民航机场而言，无人机干扰事件已经成为全球共同的难题，根据美国审计署报告，自2021年到2023年美国机场附近的无人机目击事件已超过2000次，其中主要机场几乎每天都有此类事件发生，有63起无人机事件导致飞行员采取规避动作，其中4起涉及商用客机。2025年9月挪威奥斯陆和丹麦哥本哈根机场发生多起无人机目击事件，导致机场数小时停摆，所有航班暂停起降，数万名乘客滞留。我国近年来亦屡次发生无人机风险安全事件：

天津滨海机场黑飞事件		某军港无人机偷拍事件		破解电子围栏/飞控系统
时间：	2024. 09	2021. 11		2024. 06
经过：	无人机闯入跑道南头净空区，机场按应急预案关闭跑道	军迷罗某操纵远距高清无人机对新型军舰拍摄		陈某强提供“禁飞破解”服务，远程刷写固件
危害：	29架次延误、8架次取消、32架次备降，3000余名旅客受阻	照片含2项机密+1项秘密级军事秘密		破解无人机200余台，获利10万元
后续：	嫌疑人被刑事立案	非法获取国家秘密罪，有期徒刑1年、缓刑1年		嫌疑人被公安机关抓获，刑事立案

1.2 (2) 军用需求：无人机与反无，现代战场的矛与盾

应用领域	主要功能	典型无人机和服役案例
情报、监视与侦察	实时监控、目标识别、战场态势感知	美国RQ-4“全球鹰”（阿富汗、伊拉克战争）
精确打击与察打一体	对高价值目标实施“发现即摧毁”式打击	土耳其TB-2无人机（纳卡冲突）、美国MQ-9“死神”（伊朗伊斯兰革命卫队）、
电子战与心理战	信号干扰、雷达压制、佯动欺骗	以色列“猛犬”“侦察兵”等无人机（贝卡谷地之战）
蜂群作战	低成本、饱和式攻击，压制传统防空系统	多型无人机蜂群
后勤与支援保障	物资运输、通信中继、战场评估	

- **显著的非对称优势：**以远低于有人驾驶飞机的成本和零人员伤亡风险，执行高危任务。一架经过简单改装的商用无人机可能仅需数千美元，却有能力对价值数百万美元的主战坦克构成威胁，这种高效的“效费比”在纳卡冲突等现代局部战争中得到了极致体现。美军曾进行实验，1架大型隐身飞机与4架中型隐身无人机协同，与预警机支持下的8架F-22对抗，取得8：0的战损比。
- **技术融合的倍增效应：**人工智能的集成让无人机具备了更高级的自主目标识别和决策能力。通信导航和飞控技术的进步则催生了“察打一体”模式，将发现目标到实施打击的时间从小时级缩短至分钟级，极大压缩了对手的反应时间。此外，隐身技术和新能源技术（如太阳能无人机）正不断拓展无人机的活动空间和生存能力。
- **作战理念的革命：**“忠诚僚机”（由有人战机指挥无人机群协同作战）和“蜂群战术”等新概念，标志着无人机从“单打独斗”转向体系化协同。这种分布式、智能化的作战模式，正在重塑未来战场的攻防形态。

无人机与反无在现代战场的攻防作战中得到大量应用：

- **无人机近年来成为战场主角：**2018年1月，13架装有爆炸物是无人机袭击了多个俄军驻叙的基地模板；同年11月沙特王室在也门遭遇胡塞多架装载导弹的无人机袭击；2020年9月，阿塞拜疆和亚美尼亚就纳卡地区的归属问题爆发武装冲突，首次将无人机作为主战装备，成为主导战争走向的重要因素。
- **俄乌冲突已成为一场全面的无人机战争：**从战前20多种发展到目前的70多种无人机，适配弹药20余种。在长1000多千米的俄乌胶着战线上，每隔10千米左右，双方通常会有25~50架无人机在中间区域穿梭活动。早期乌军凭借小型无人机打击频频得手，后来俄军逐渐开始重视无人机进攻与反无防御，加强电子战和防空系统部署。在开战的19个月内，虽然乌军出动无人机是俄军的3.8倍，但俄军利用中近程防空系统和强大电子战（干扰传感器以及商用型无人机未加密的卫星导航系统或通信链路）能力，毁伤乌军大量无人机。从无人机进攻次数看，乌军成功率为14.3%，远低于俄军的54.0%；从拦截无人机次数看，乌军成功率43.3%，也低于俄军的85.1%。

1.3 高度重视低空安全，无人机反制获政策支持

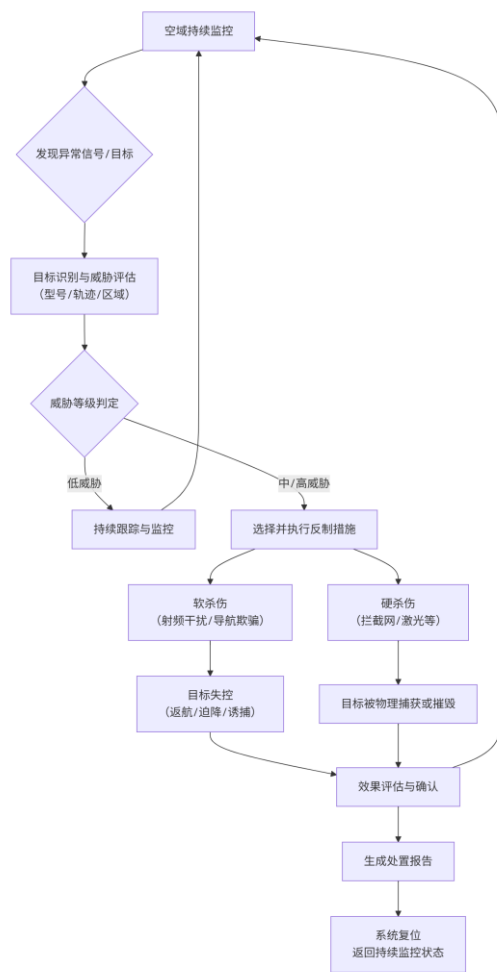
- 我国近年来高度重视低空安全问题，在2023年5月制定《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》，为无人机的管理构建核心法律框架。并且规定了无人机反制设备的使用方、使用场景、责任单位和违规处罚措施等。
- 最新的《治安管理处罚法》也明确将“黑飞”等违规行为列入处罚范围，从立法角度强调无人机合法飞行的要求。
- 地方积极响应，提出无人机反制的相关支持政策。以北京为例，其《低空经济产业行动方案》对打造低空安全能力、攻克反无关键技术 and 构建安全管理体系都提出了明确的发展规划。

无人机反制的相关支持政策

法规	时间	反无相关内容	意义
《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》	2023. 05	- 无人驾驶航空器违反飞行管理规定、扰乱公共秩序或者危及公共安全的，空中交通管理部门、民用航空管理部门和公安机关可以依法采取必要技术防控、扣押有关物品、责令停止飞行、查封违法活动场所等紧急处置措施。 - 军队、警察等授权部门可以依法配备无人驾驶航空器反制设备，在公安机关或者有关军事机关的指导监督下从严控制设置和使用。 - 无人驾驶航空器反制设备配备、设置、使用以及授权管理办法，由国务院工业和信息化部、公安、国家安全、市场监督管理部门会同国务院有关部门、有关军事机关制定。 - 任何单位或者个人不得非法拥有、使用无人驾驶航空器反制设备。违反者由无线电管理机构、公安机关按照职责分工予以没收，可以处5万元以下的罚款；情节严重的，处5万元以上20万元以下的罚款。	构建了无人机管理的核心法律框架，明确分类管理、空域划设和飞行规范，为反无人机管理提供了根本的法律依据
《治安管理处罚法（2025年版）》	2025. 06	- 违反有关法律法規关于飞行空域管理规定，飞行民用无人驾驶航空器、航空运动器材，或者升放无人驾驶自由气球、系留气球等升空物体，情节较重的，处五日以上十日以下拘留。 - 飞行、升放前款规定的物体非法穿越国（边）境的，处十日以上十五日以下拘留。	将无人机“黑飞”等违规行为明确纳入处罚范围，从法律层面强化了合规飞行的刚性要求，间接扩大了反无人机系统的合规应用场景
《安全应急装备产业分类指导目录（2025版）》	2025. 07	明确将“无人机反制设备”列入重点支持的安全应急装备品类	直接引导和鼓励相关技术的研发与产业化
《北京市促进低空经济产业高质量发展行动方案（2024-2027年）》	2024. 09	- 低空安全能力领先。到2027年，建立起覆盖各类无人机及“低慢小”航空器、多种技术搭配、高中低空高效协同的安防反制能力，形成单区域低空防御+社会面低空安全管控综合解决方案及安防模式，确保首都低空安全，打造全国标杆。 - 攻克低空安全管控关键技术。支持京内企事业单位加强光电对抗、控制信息干扰和数据链干扰等无人机反制技术研发，形成多体系融合的无人机反制手段，着力突破复杂环境区域内无人机侦测、识别、定位难题。充分利用人工智能、大数据等技术手段，支持构建低空安全风险预测与应急处置大模型，实现异构、多样、高速低空飞行器的立体防御及非常态化低空安全隐患的高效处置。 - 构建低空安全防范体系。在京梯次配备多种软硬反制系统设备，提高立体管控水平。探索建立一体化指挥体系架构，创新低空安防推演能力，构建快速预警、精准识别、有效处置的城市级低空安全管理综合解决方案，形成重点区域低空防御及常态化低空安全服务保障的示范应用集成，培育可推广复制的经验模式并在京津冀地区及全国推广。建设低空安全产业园，打造低空安全示范区。	直接刺激本地反无人机设备市场需求，促使企业针对本地市场研发适配产品，同时引导其他地区出台类似规定，扩大市场



1.4 无人机反制的主要方式及工作原理



图表：无人机反制系统工作流程图

完整的无人机反制系统并非单一技术，而是一套“从发现威胁到消除威胁”的闭环流程，经过“探测与识别-跟踪与评估-信号压制/物理处置-效果评估”四大核心过程，各阶段技术协同配合，最终实现有效管控。

1. 探测与识别：探测系统通过射频探测器、雷达、光电 / 红外传感器、声波探测器等设备扫描空域，捕获无人机的信号或特征。射频探测器分析通信信号，识别无人机的型号和频率；雷达检测其位置和轨迹；光电 / 红外传感器确认视觉特征；声波探测器补充近距离感知。然后，数据融合算法整合多源信息，生成无人机的身份和位置信息。

2. 跟踪与评估：系统通过多传感器持续跟踪无人机，更新其位置、速度和轨迹。指挥控制系统运行 AI 算法，根据无人机的型号、飞行高度、区域敏感性等因素评估威胁等级。评估结果将决定后续的反制策略，如采用干扰或捕获等方式。

3 (1) 信号压制：干扰系统根据探测数据发射电磁信号，压制无人机的通信和导航功能。通信压制通过发射白噪声或扫频信号，覆盖无人机的通信频段，降低信噪比，切断遥控和图传；导航压制则针对 GPS 等导航频段，发射伪信号或噪声，诱导无人机飞向虚假坐标或降落。频谱分析仪实时监测频率，动态调整干扰信号参数，以应对无人机的跳频或加密协议。

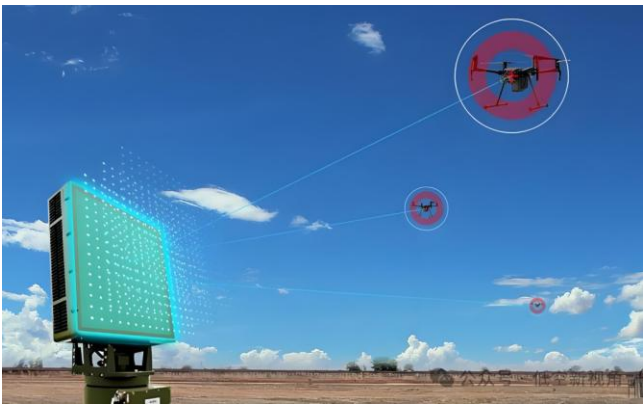
3 (2) 物理处置：在信号压制后，捕获系统实施物理处置，移除无人机或消除威胁。常见的物理处置方式包括使用捕网枪发射网状物缠绕螺旋桨，拦截无人机携带网具或机械爪进行捕获，以及利用激光武器烧毁无人机，高能微波装置瘫痪其电子系统等。

4. 效果评估：指挥控制系统记录反制过程，生成包括无人机型号、位置、轨迹和处置结果等信息的报告。数据通过 5G 或卫星链路反馈至指挥中心，用于执法或后续分析。同时，系统支持优化调整，通过 AI 分析失败案例，改进干扰策略，以适应新型威胁。

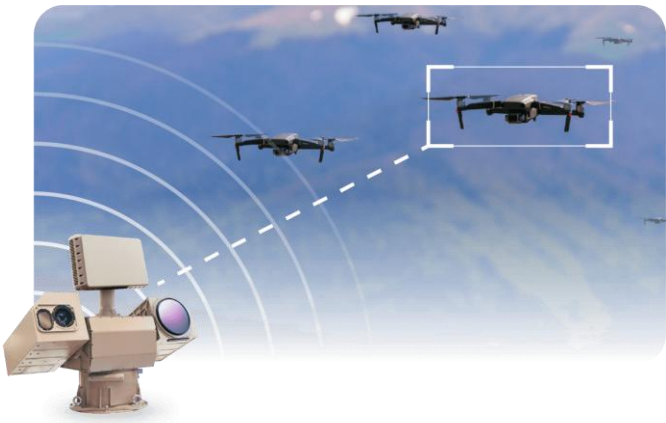


1.5（1）探测识别的主要技术手段

相控阵雷达探测



光电识别探测



技术手段	技术原理	主要特点	典型应用场景
雷达探测	发射电磁波并接收回波，通过分析确定目标位置、速度等信息	作用距离远，但可能对“低慢小”目标探测效果有限，且易受地形和电磁环境影响	机场周边、军事要地的大范围监控
无线电频谱探测	监测特定频段的无线电信号，识别无人机操控和图传信号	成本相对较低，但需持续更新信号库以应对新机型，在复杂电磁环境中可能受干扰	城市环境、重要设施周边的无人机活动监测
光电识别（可见光/红外）	通过高清摄像头或红外热成像仪捕捉无人机影像或热信号	识别精度高，可直观确认目标，但夜间、雾霾等恶劣天气或恶劣能见度条件下性能会下降	边界巡逻、关键基础设施的视觉确认
声学识别	采集并分析无人机旋翼和电机特有的噪声频谱	被动侦测，隐蔽性好，作用距离较近，易受环境噪声干扰	特定安静区域的辅助监控



1.5（2）打击反制的主要技术手段

射频干扰设备



高功率微波打击设备



技术类型	具体手段	技术原理	主要特点	典型应用场景
“软杀伤” 反制 (民用为主)	射频干扰	发射大功率同频干扰信号，阻断无人机与操控者间的通信链路	成本较低，响应快，可能对周边合法无线电设备造成干扰	驱离消费级无人机，大型活动安保
	导航信号欺骗（GNSS欺骗）	伪造卫星导航信号，诱骗无人机飞向错误地点或使其无法定位	可实现“诱捕”，技术难度较高，需要对目标无人机导航协议有深入了解	捕获无人机获取证据，保护敏感空域
“硬杀伤” 反制 (军用为主)	激光武器	发射高能激光束，烧蚀摧毁无人机关键部件	打击精度高、速度快、几乎瞬时命中，但受大气条件影响较大，当前系统成本高昂	军事防御、关键点防御 应对高速或加固目标
	微波武器	发射高功率微波，破坏无人机电子系统	攻击范围广，可能应对蜂群攻击，但控制杀伤范围难，易误伤友方设备	军事领域应对集群攻击
	拦截网（网弹或拦截无人机）	发射实体网或使用拦截无人机携带网具捕获目标无人机	附带损伤小，可回收取证，但作用距离通常较近，多为末端防御	人口稠密区



二、产业发展情况

——公安采购带动需求，国内反无产品涌现



2.1 海外发展情况：各国高度重视

- **美国**：美军从 2012 年起就开始制定反无人机战略，依托国防工业的技术研发力量，加快推动反无人机系统的研制与升级，迅速成为推动反无人机领域发展的领头羊。2019 年，美国国防部设立反小型无人机联合办公室，负责领导、协调和管理有关事项。2021 年 1 月，美国国防部发布《反小型无人机系统战略》，用以指导美军在本土、海外基地等应对各类型小型无人机威胁，对执行任务中的人员、设施、资产进行安全保护，充分体现出对“低慢小”无人机的战略地位的重视。
 - 美国 Battelle 公司研发的反无人机设备 DroneDefender，外形同步枪相近，携带操作便捷，通过前端加装的天线，对无人机实施频率干扰。实验表明，该设备能够在 400 米范围内，对依靠 GPS 导航的无人机实施有效干扰。
- **俄罗斯**：2017 年，俄罗斯成立了全球首支反无人机电子战部队，专门运用无线电对战无人机。2018 年，更是将反无人机集群式袭击列入军事作战训练的必备科目。一直以来，俄罗斯针对各类无人机在技术上的短板及设计上的弱点，进行逐个攻破解。对于“低慢小”无人机，俄军目前正在完善最新型的 ROSC - 1 反无人机系统，该系统主要用于应对自杀式无人机和配备爆炸物的廉价无人机的攻击，能大幅提高俄军对抗“低慢小”无人机的效率，提升抗击敌方无人机的能力。
 - 俄罗斯“标准器”科研所研发的“蔷薇”电子战系统，通过大功率信号压制，对无人机通信链路的干扰或欺骗，实现对无人机任务拦截和控制。同时也可以为己方火力引导打击目标。据悉，该系统可以有效压制美军 RQ 系列无人机。
- **欧洲**：英国政府专门成立了代号为“C014”的反无人机信息中心，研究由小型无人机造成的恐怖袭击、危险违禁品运输等；2019 年发布《英国反无人机战略》，提出对小型无人机安全风险的应对策略。同时，法国、德国、瑞典、以色列等越来越多的国家愈加重视“低慢小”无人机的安全威胁问题，通过积极开发反无人机系统，实现对“低慢小”无人机的探测、识别和反制。
 - 瑞典萨博公司研发的“海上长颈鹿”配备了高性能的相控阵雷达，具有较低的使用维护成本，对“低慢小”无人机具有极强的探测能力。
 - 英国多家科技公司共同研发的反无人机系统“AUDS”于 2015 年列装。该系统操作简单、部署展开迅速，能在 15s 内完成对 10 公里范围内无人机的跟踪、探测、识别和打击。实验中，系统针对 60 种不同的无人机进行了测试，均达到了预期的跟踪摧毁目标，同时在对付无人机机群方面也表现出良好的效果。

类别	国家	名称	研制机构	装备构成	状态	作用距离
探测跟踪	瑞典	“长颈鹿” 雷达系统 (AMB)	萨博公司	可自动识别低空、低速小型目标并对其进行跟踪，可在执行空中监视能力的同时，执行反无人飞机系统作战任务	在役	180 km
干扰阻断	以色列	“Drone Dome”反无 人机系统	拉斐尔公司	最新一代的系统不仅具备电子干扰系统，还配备高性能激光武器，能够实现雷达探测、光电探测、电子干扰、激光打击	在役	3.5 km
干扰阻断	美国	“Drone Defender” 反无人机枪	Battelle 公司	对实时遥控型或依靠 GPS 导航的无人机有效，能够移动并精准、快速阻止无人机抵进	在役	400 m
欺骗控制	俄罗斯	蔷薇电子战 系统	“标准器”科 研所	可对无人机实施遥控信号压制、指令欺骗、抢夺控制器并引导其他武器系统进行火力打击	在役	10 km
欺骗控制	英国	“AUDS” 反无人机防 御系统	布莱特监视系 统、切斯动力、 企业控制系统	可以利用雷达和光学仪器探测、精准定位、跟踪小型无人机，采用 GPS 中断和定向电子对抗干扰技术，诱使无人机自动着陆或返航	在役	8 km
毁伤捕获	英国	SkyWall 100 SkyWall 300	OpenWorks Engineering	通过发射网状捕捉器捕获目标无人机，能使之立即丧失移动能力，并可以利用降落伞实现无损捕获，可以选择固定部署或车装结合使用	在役	10~250 m



2.2 国内发展现状：近年来反无产品涌现

尽管我国在反无人机方面的起步较美俄等国较晚，但已经实现快速追赶甚至反超，在雷达、光电、无线电频谱监测等探测技术方面取得了长足进步。

- **探测方面**，多款针对低慢小目标的新型雷达问世，像太赫兹雷达等前沿技术研究不断推进，提升对小型无人机的探测精度和距离；光电探测技术也在不断优化，具备高清成像、多光谱探测等功能，可实现对无人机的快速识别与跟踪。
- **软杀伤方面**，电子干扰技术成熟度较高，研发出多种便携式、车载式以及固定式干扰设备，能对无人机的通信链路、导航信号等进行有效干扰。此外，在基于信号欺骗的干扰技术方面，也取得了一定成果，通过伪造无人机控制信号或导航信号，引导无人机偏离预定航线或降落。
- **硬杀伤方面**，在激光反无人机技术领域取得突破，研发出激光反制系统，能够快速、精准地击落无人机，而且具有较高的打击效率和较低的使用成本。电磁脉冲反无人机技术也在持续研究和发展中，为反无人机作战提供了新的手段。

近年来，我国已经涌现出一批国产反无人机系统，抢占反无市场蓝海。

参与企业	产品/系统名称	产品特点与核心技术	典型应用场景与备注
联创光电	光刃系列激光系统	集成AI指挥平台，支持多目标自动识别与分级打击；能快速对无人机进行精准打击，响应速度快	关键基础设施防护。已成功出口中东，并针对高温气候进行优化。
锐科激光	寂静狩猎者激光系统	提供核心的光纤激光器，功率覆盖范围广，可实现低成本的激光拦截，且具备较好的光束质量，打击精度高	要地防空。已在沙特等地区通过实战检验，据称单次拦截成本极低。
莱斯信息	天穹综合反无人机体系	体系化防御，集成雷达、光电、电子干扰、激光及拦截无人机，实现“探、侦、扰、控、打、评”全流程自动化。	要地防御、机场净空。代表一体化、智能化反无人机解决方案的发展方向。
国睿科技	蜘蛛网低空监视反制系统	以相控阵雷达技术为核心，具备全天候、全方位监视能力。	机场净空保护区。已部署于首都机场、香港国际机场等关键场所。
星网宇达	海东青/猫头鹰系统	惯性导航与雷达技术优势明显，采用光电追踪 + 射频干扰的方式，具备卫星通信与 AI 威胁评估能力，拦截成功率高。	要地防御。产品已在国际市场形成销售订单。
天和防务	猎影3.0指挥系统	拥有雷达、光电与电子干扰等技术，实现多源数据融合与智能决策，可对无人机进行探测、跟踪、干扰等一体化操作。	大型活动安保、边海防。处置手段以电子干扰为主。
海格通信	苍擒侦测防御系统	频谱侦测与云平台管理：实现侦测预警与干扰反制一体化，覆盖区域广。	民用机场、净空保护区。已应用于无锡苏南硕放机场等场景。
六九一二	HPM-2000微波反制系统	依托深厚军工背景，在激光与微波反制技术上有优势，高功率微波反无人机系统通过微波定向辐射干扰通信链路，成本低、效率高。	边境巡逻、灾害救援。国内较少见的专注微波反制路径的上市公司。
航天彩虹	彩虹 - 10 察打一体无人机	不仅具备无人机研发制造能力，其察打一体无人机还具有激光毁伤能力，实现侦察与打击一体化，可对无人机目标进行远距离探测和打击。	军事作战、边境防控、特定区域的无人机清剿

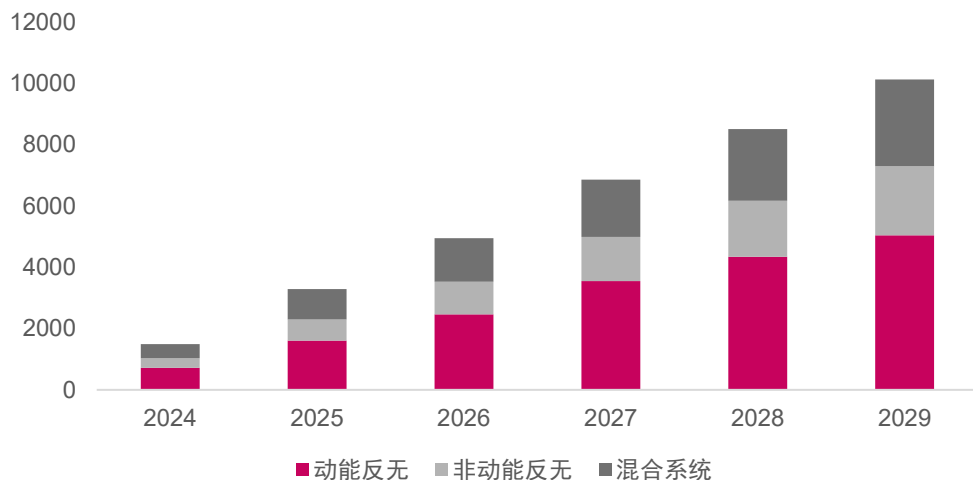


2.3 美国市场：国防部主导军用装备采购

美国军用市场

- 美国国防部针对反无人机系统（C-UAS）制定详细的军用装备采购计划。根据美国国防分析研究所数据，2024-2029年美国国防部每年对反无人机系统的采购规模在14-16亿美元，2027年达到峰值19.18亿美元。市场累计规模将由14.93亿美元增长至101亿美元，CAGR达到46.6%。
- 核心采购项目包括：
 - 28.0亿美元采购 1867 套反小型无人机系统；
 - 12.0亿美元采购“过渡型机动近程防空”反无人机系统；
 - 11.0亿美元为美国陆军研发定向能系统；
 - 9.7亿美元为美国特种作战司令部研发反无人机系统
 - 9.0亿美元为美国空军研发专属新型反无人机系统。

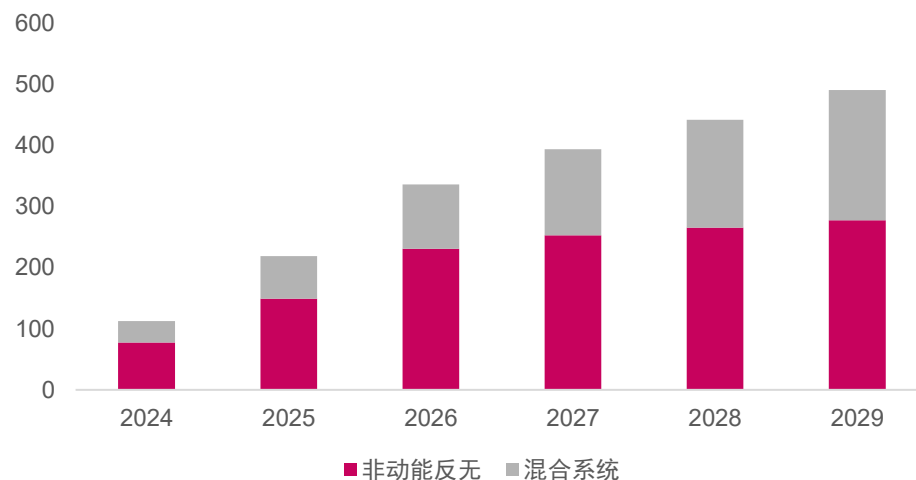
美国军用累计市场规模（百万美元）



美国民用市场

- 美国民用市场主要由国土安全部、能源部、司法部等部门的采购需求推动。国土安全部部长特别授权海关与边境安全局、特勤局、管理局以及运输安全管理局4个部门部署反无系统，以在实际操作中应对恶意小型无人机（sUAS）的威胁。
- 根据美国国防分析研究所数据，2024-2029年市场累计规模将由1.12亿美元增长至4.91亿美元，CAGR达到34.3%，尤其在前三年实现较快增长。与军用市场不同的是，民用领域主要以非动能技术为主，减少物理打击，避免对居民和环境造成附带伤害。
- 其最大的项目包括由国土安全部（DHS）下属的科学技术局（S&T）负责运营的“反无人机技术服务支持项目”。

美国民用累计市场规模（百万美元）



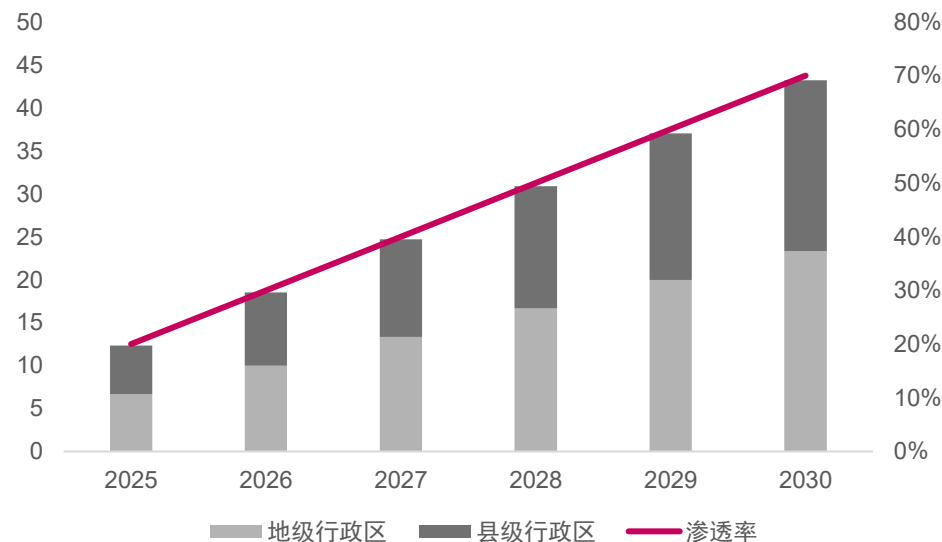
2.4 国内民用市场：公安部门采购带动大量需求

我们主要考虑低空经济发展下无人机反制的民用市场规模，这部分目前主要由各地公安局及下属辖区各个分局采购需求带动。

- 我国共设有333个地级行政区（地级市、自治州）和2843个县级行政区（市辖区、县级市、县等），自低空经济大力发展以来，各地公安部门对反无人机设备/系统开启了一轮密集采购，从当前采购情况来看，我们假设2025年反无设备/系统的整体渗透大约为20%，并预计在未来5年内每年渗透率提升10%。
- 据我们观察，地级行政区采购反无综合系统（包含空管系统、雷达系统等）的单项目采购规模在1000万元左右，县级行政区采购反无设备（包含无线电侦测/干扰设备、报文接收设备、便携式/手持式侦打反制设备、探测定位设备等）的单项目采购规模在100万元左右。
- 因此，我们预计2025至2030年民用反无市场规模将由12.35亿元增长至43.21亿元，CAGR达到28.5%。

除公安部门以外，预计未来海事、海关、城市交通、铁路、机场、武警等部门也会开启一系列反无系统的采购，有望贡献更市场增量。

国内民用反无市场规模（百万美元）



2.5 产业链组成与主要参与者

上游：核心组件与材料 (20%-30%)

探测类器件：

雷达T/R组件
红外/可见光传感器
射频前端、
声学MEMS

国睿科技
纳睿雷达
四创电子
星网宇达

干扰/杀伤核心器件：

高功率激光器
微波功率器件
干扰功放芯片

锐科激光
国光电气
雷科防务
长华光芯

结构件/电子件：

军工电源
高导热材料
精密光学元件
铝合金/复材壳体

泰豪科技
甘化科工
中光学
中航高科

中游：系统集成 (50%-60%)

软杀伤系统：

雷达/射频侦测
干扰/诱骗一体站
便携式干扰枪

航天南湖
莱斯信息
天和防务
海格通信

硬杀伤系统：

相控阵雷达
光电+高能激光
高功率微波
火控软件

联创光电
莱斯信息
六九一二
星网宇达

察打一体平台：

车载装备
舰载装备
机载多模态融合
AI决策单元

航天彩虹
莱斯信息
中无人机
瑞达恩

下游：应用服务 (10%-30%)

军用市场：

要地防空
蜂群作战
国土安全（领土、海事边境）

民用市场：

学校
非法聚集
大型活动安保（演唱会、运动会）

政府/公共市场：

机场
监狱
电力
重要机构（政府、电台、领事馆）
交通枢纽（地铁、火车站）

2.5 产业链组成与主要参与者

上游

上游组件的价值量占产业链20%-30%，其中主要为探测和干扰杀伤器件，占比达到70%。探测类器件包括相控阵雷达T/R组件、光电传感器（红外/可见光）、声学器件、射频器件等，其中“雷达+光电”是较为典型的探测组合器件，声频探测则多为辅助手段，单独使用较少。干扰杀伤核心器件包括高功率激光器（泵浦源、增益光纤）、微波功率芯片（磁控管、行波管）等，技术门槛偏高，主要参与者多为军工科研院所或具备军品资质的民企。

中游

中游系统的价值量占产业链50%-60%，主要为系统集成商，将上游的各种分系统进行整合形成完整的反无人机系统。软杀伤类产品以通信、电子的探测和干扰手段为主，技术门槛相对较低，民营企业参与者众多，市场集中度较低。硬杀伤产品以激光、微波的打击和破坏手段为主，技术门槛相对较高，对于研发成本和企业资质的要求更加严格，参与企业多具有国企背景。系统集成商由于许多整合上游产业链多环节组件，熟悉并组合多种技术路径，因此多由国内大型军工集团科研院所参与，包括中电科、航天科工、航天科技、兵器工业等。

下游

下游应用服务的价值量占产业链10%-30%，涵盖军用、民用和政府市场，尤其聚焦在要地防空、社会安防、大规模人群聚集地等场景下，针对“黑飞”等非法飞行活动进行管控，维护社会稳定和国土安全。

三、展望未来

——多源融合的探测、识别、干扰与AI决策

3.1 “低慢小”无人机反制的困境

“低慢小”无人机具备操作简单、飞行速度低、体积和截面小、成本低廉、可搭载载荷等特点，在军事战场可执行目标探测侦察、协同火力打击等威胁任务，符合现代战场攻击目标、攻击手段、攻击载体的复杂化和大规模杀伤化的趋势；在日常生活中可对重点区域及敏感场所进行偷拍摄像和测绘拍照，甚至可通过装载武器、民用危化品和爆炸物，进行火力攻击、恐怖袭击及自杀式打击，造成人员伤亡及目标摧毁，由于其隐蔽性和危害性使其成为反制重点。

然而，对于“低慢小”的反制存在诸多技术难题，我们总结为“四难”困境，包括探测识别难、干扰阻断难、打击处置难和技术获取与监管难。

- **探测识别难：**“低慢小”无人机体积小，使用大量非金属材料，雷达反射截面积小，并且飞行高度低，易受地面杂波干扰，导致常规雷达难以有效探测。同时，在复杂电磁环境或多目标场景下，光电设备对其识别也存在困难，难以快速精准地将其从众多背景目标中区分出来。
- **干扰阻断难：**此类无人机通信链路多样且不断更新，部分采用跳频等抗干扰技术，使得传统干扰手段效果受限。而且，一些“低慢小”无人机具备自主飞行模式，即使通信链路被干扰，仍可能按照预设航线继续飞行，难以实现有效驱离或迫降。
- **打击处置难：**由于“低慢小”无人机飞行速度相对较慢但机动性灵活，使用传统防空武器进行打击，容易出现反应不及时、弹药成本高、附带损伤大等问题。例如在城市环境中，使用导弹等硬杀伤武器可能会对周边设施和人员造成严重伤害。此外，无人机“蜂群”作战模式下，目标数量众多、分布范围广，对同时探测、跟踪和打击多个目标的能力要求极高，现有反制装备在应对大规模集群时，存在能力不足、毁伤成本高且易遗漏目标等情况。
- **技术获取与监管难：**随着无人机技术的普及，相关技术获取门槛降低，一些非专业人员甚至不法分子也能够轻易获得“低慢小”无人机及其改装技术，使得监管难度增大。同时，在法律层面，对于无人机非法飞行的界定、反制措施的使用权限等方面还不够完善，导致执法过程中存在一定的模糊地带。



3.2 新型反无技术发展方向-探测识别技术

多源融合感知探测系统：“低慢小”无人机探测的现存问题在于探测预警距离有限，顶空覆盖能力差，远程识别目标困难。综合运用探测雷达、光电（可见光/红外）设备、射频侦测和声学探测等多种手段可形成优势互补：

- 雷达探测优势在于探测距离远，可进行轨迹跟踪，但对悬停或低速飞行的目标探测难度大，易受背景杂波及复杂环境影响，虚警率较高。
- 光电探测优势在于可实现对目标的高精度跟踪，精确引导打击，但易受恶劣天气的影响，主动搜索能力差，需要其他手段提供位置信息引导。
- 无线电探测优势在于能够识别无人机机型，隐蔽性好，但受电磁环境影响大，城市环境使用局限性高，且无法监测处于无线电“静默”状态的无人机。
- 多传感器数据融合能够将来自雷达、红外线、可见光摄像机和声波监测等不同传感器的信息进行整合。未来特别是在传感器之一被干扰或失效时，融合算法可以重新分配资源，以确保系统的整体性能不受影响。通过这种自我调节的机制，反无人机系统在面对日益复杂的无人机威胁时，可以保持高度的灵活性以及鲁棒性。

新型雷达技术研发：研发针对“低慢小”目标的新型雷达，如太赫兹雷达、米波雷达等。太赫兹雷达能够穿透非金属材料，对小型无人机具有较好的探测效果；米波雷达对隐身目标有一定的探测优势，可以提高对采用隐身技术的“低慢小”无人机的发现概率。

多元融合感知探测识别无人机



3.3 新型反无技术发展方向-干扰打击技术

多种干扰手段协同：综合运用射频干扰、GPS 欺骗干扰、通信协议干扰等多种干扰方式。射频干扰可阻断无人机与操控者之间的通信链路；GPS 欺骗干扰能使无人机获取错误的定位信息，引导其偏离航线或降落；针对特定通信协议进行干扰，可精准破坏无人机的控制指令传输。

动态自适应干扰：研发具备动态自适应能力的干扰设备，能够实时监测无人机通信频段和信号特征，自动调整干扰参数，提高干扰效果，有效应对采用抗干扰技术的无人机。

非致命性打击：推广使用非致命性反制手段，如激光致盲、网捕、电磁脉冲等。激光致盲可使无人机的光学传感器失效，失去飞行能力；网捕方式通过发射捕捉网将无人机捕获，可实现无损回收；电磁脉冲武器能瞬间破坏无人机内部电子设备，使其坠落，且对周边环境附带损伤较小，适用于城市等敏感区域。

新概念武器适应性打击：激光武器具有光速打击、单次成本极低、精度高的特点，非常适合应对中小型无人机；而高功率微波武器则能进行面杀伤，是对抗无人机蜂群的有效手段。可根据无人机体型、入侵性质和数量“对症下药”进行适应性打击。

射频、
导航、
激光、
多种
干扰
手段
协同



3.4 新型反无技术发展方向-AI智能决策

人工智能在反无人机领域的应用，更多体现在可以更快理解战场态势，在数据处理、数据分析方面发挥优势，对关键的作战决策支持数据进行最优化处理，为决策者提供辅助及多种行动方案选择。

- **高速数据处理与实时决策：**"无人机的快速移动和短时间内执行复杂任务的能力要求反无人机系统能够实时跟进和应对。人工智能系统能够快速处理来自雷达、相机和其他传感器的庞大数据流，并立即作出响应决策，如自动跟踪、识别无人机类型及其潜在威胁，并实施相应的防御措施。
- **模式识别和异常检测：**人工智能在模式识别和异常行为检测方面表现出色。通过深度学习，系统可以从过去的数据中学习无人机的飞行模式，并能够识别出与众不同、异常或威胁性的行为。这在识别敌对或非法无人机行为方面至关重要，尤其是在它们试图模仿正常的商业无人机操作或采取隐蔽行动时。
- **自适应与持续学习：**无人机技术和用途的不断进化意味着传统的反无人机方法可能很快就会过时。人工智能可以通过不断学习新的无人机特征、战术和干扰技术来适应这种变化，不仅能够根据新的威胁数据更新其模型，还能预测和对抗未来潜在的无人机发展趋势。

智能算法在反无人机技术中的应用

雷达探测数据处理

- 为了提高目标检测的准确性，算法的发展至关重要。从传统算法到现代神经网络和深度学习的应用，这一进步极大地提升了雷达探测的性能。
- 例如，通过使用 短时傅里叶变换 (STFT) 将频谱转化为图像后，再利用深度卷积神经网络 (DCNN) 对无人机进行分类。

红外和可见光探测数据处理

- 近年来，基于深度学习的技术已成为处理红外和可见光图像的主流趋势。这些方法通常先利用传统图像处理技术确定潜在的目标区域，再通过深度学习进行更精确的目标检测和特征提取。
- 例如，通过利用 VGG-19 网络提取深层特征，并与图像的细节内容结合，实现了融合图像的重构，提升对无人机探测能力。

声音探测数据处理

- 在无人机音频探测领域，研究人员通常采用梅尔频率倒谱系数 (MFCC)、线性预测倒谱系数 (LPCC) 等特征提取方法，并结合机器学习算法进行声音数据的分类。

无线探测数据处理

- 随着人工智能技术的发展，SVM、遗传算法、聚类算法和深度学习方法等已被广泛应用于无线电信号的特征提取和分类处理，以实现更准确和高效的无人机探测与定位。

多传感器融合数据处理

- 最近的AI研究成果在多传感器数据融合方面展现了创新方法和显著潜力。
- 例如，对于激光雷达和红外传感器的融合进行探索，以实现高速低空目标的三维定位；卡尔曼滤波器和扩展卡尔曼滤波器被用于优化状态估计和数据融合过程。



3.5 新型反无技术发展方向-通信技术

通信技术在反无人机技术中扮演了核心角色。通过优化通信系统，提高数据传输的稳定性和实时响应能力，可显著提升反无人机系统的运行效率、可靠性。

关键通信技术		反无工作中起到的关键效果
高速数据传输	实时数据传输	反无人机系统中，实时性是关键。5G 和 6G 等高速通信技术能够确保雷达数据、光学图像、红外扫描等信息以极低延迟传输到控制中心。以便及时作出感应，提高拦截成功率
	多源数据融合	反无人机系统通常需要从多个探测设备收集数据，包括雷达、声纳、摄像头和其他传感器。高速数据传输能力使得这些来自不同源的数据可以迅速合并，以便进行综合分析。
	增强的情报共享	高速数据传输还允许反无人机系统与其他安全机构或部队共享情报。这种情报共享可以提高对无人机威胁的整体应对能力。
	支持高级应用程序	如机器学习算法、人工智能等。这些高级应用程序需要大量的数据处理和分析，而高速数据传输提供了必要的数据处理速度和带宽。
增强的信号覆盖和稳定性		随着信号覆盖的扩展，山区、森林或城市深处不再是通信“死角”，反无人机系统可以更加广泛部署和操作。 增强的信号稳定性意味着，无论是在高楼大厦之间、大风雨中还是在其他各种干扰比较强的环境中，都能够确保反无人机系统获得比较稳定、准确的数据流，
高精度的定位技术		通过集成卫星导航系统，如GPS和北斗等，反无人机系统的定位精度得到了显著增强。在复杂的地形环境中，例如城市高楼大厦、山区等地， 高精度定位技术能够帮助反无人机系统快速识别并精确锁定目标位置，进而实施有效的干预措施。
动态频率切换与干扰		利用动态频率切换技术，反无人机系统能够快速检测并识别目标无人机所使用的通信频率，实时跟踪并立即采取干扰措施，确保无人机始终处于失联状态。 还可以发送伪造的控制指令，诱使无人机执行错误的动作，如降落或偏离航线。这种“智能干扰”策略不仅提高了拦截的成功率，还显著降低了误伤无辜设备的风险。
宽频带技术		宽频带技术的应用使得反无人机系统能够同时监视多个频段，从而允许操作员更加准确地确定哪些频率正在被潜在威胁的无人机所使用，并针对性地 实施干扰措施。这种技术不仅显著提高了干扰的成功率，还减少了对其他非目标通信设备的不必要干扰，降低了误伤的风险。 此外，宽频带技术在复杂电磁环境中的适应性也是其另一个重要优势。在现代城市环境中，众多通信设备、信号塔和其他电子设备产生的电磁干扰使得电磁环境极为复杂。宽频带技术使得反无人机系统能够在这样的环境中迅速识别并响应潜在威胁的无人机信号。
多输入多输出（MIMO）技术		MIMO 技术的多天线特性使得系统能够从不同角度和位置接收到无人机的信号，并可以利用这些信号差异可以精确计算出无人机的位置。这种方法不仅极大地提高了目标检测的准确性，还使得对无人机的跟踪更加稳定和可靠。 此外，当无人机尝试通过改变频率或使用干扰器来规避检测时，MIMO 系统的多频道特性能够迅速适应并重新锁定目标。 另外，MIMO 技术增强了反无人机系统的信号干扰能力。与传统的单一输入输出系统相比，MIMO 技术允许系统同时对多个目标发射干扰信号。这意味着在多架无人机同时出现的情况下，系统仍然能够有效地进行拦截。



相关上市公司

探测识别：国睿科技（600562.SH）、纳睿雷达（688522.SH）、四创电子（600990.SH）

干扰杀伤：锐科激光（300747.SZ）、国光电气（688776.SH）、雷科防务（002413.SZ）、长华光芯（688048.SH）

系统集成：航天南湖（688552.SH）、莱斯信息（688631.SH）、天和防务（300397.SZ）、海格通信（002465.SZ）、联创光电（600363.SH）、六九一二（301592.SZ）、星网宇达（002829.SZ）、航天彩虹（002389.SZ）、中无人机（688297.SH）

风险提示

- **低空产业发展不及预期：**低空经济产业尚处发展初期，若后续发展进程受阻，导致无人机市场需求拓展低于预期，则使得相关反无需求不及预期。
- **重点装备研发及交付不及预期：**无人机反制属于技术密集型行业，研发投入较大，技术壁垒较高，存在技术研发和产品生产受阻风险。
- **财政经费预算不及预期：**目前下游需求主要由公安部门采购带动，若财政预算有限，或可能存在减少采购的情况。
- **市场竞争加剧：**目前多家企业抓紧开发反无产品，后续或有更多参与者进入市场，使得市场竞争更加严峻。



投资评级说明

金元证券行业投资评级标准：

增持：行业股票指数在未来6 个月内超越大盘；

中性：行业股票指数在未来6 个月内基本与大盘持平；

减持：行业股票指数在未来6 个月内明显弱于大盘。

金元证券股票投资评级标准：

买入：股票价格在未来6个月内超越大盘15%以上；

增持：股票价格在未来6个月内相对大盘变动幅度为5%~15%；

中性：股票价格在未来6个月内相对大盘变动幅度为-5%~+5%；

减持：股票价格在未来6 个月内相对大盘变动幅度为-5%~-15%； 。



免责声明

本报告由金元证券股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格）制作。本报告所载资料的来源及观点的出处皆被金元证券认为可靠，但金元证券不保证其准确性或完整性。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专业财务顾问的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，金元证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。投资者需自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告所载的信息、材料或分析工具仅提供给阁下作参考用，不是也不应被视为出售、购买或认购证券或其他金融工具的要约或要约邀请。该等信息、材料及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，金元证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

金元证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。金元证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。金元证券的自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

在法律许可的情况下，金元证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务服务。因此，投资者应当考虑到金元证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一信赖依据。

本报告的版权仅为金元证券所有，未经书面许可任何机构和个人不得以任何形式转发、翻版、复制、刊登、发表或引用。

