

无人机系列报告之一：智能化作战核心载体

无人驾驶飞机简称无人机（UAV），是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞行器。美国是目前无人机最大的研制生产国，技术和装备规模都处于领先地位，以色列、俄罗斯、土耳其以及欧洲等国也具有较强的无人机生产能力。特别是近些年无人机在中东战场上发挥了重要作用，各国高度重视军用无人机的发展，军用无人机需求量呈现不断扩大态势。从用途来看，无人机最早的用途为侦察与打击，后来陆续发展出运输、加油、僚机等辅助功能。从大小来看，美国无人机从大中型无人机向大中小微全系列发展。从性能来看，无人机向着高速、长航时、隐身以及装配高性能传感器发展。

21 世纪以来，我国研发出了一系列具有中国特色的军用无人机，已经形成了一些较成熟的无人机产品系列，例如 ANS301 反辐射无人机、BZK-005 察打一体无人机等，“翼龙”、“彩虹”等中大型察打一体无人机在海外取得较高的市场份额。在 2019 年新中国成立 70 周年国庆大阅兵上，我国于无人作战第一方队中展示了高空高速无人侦察机、炮兵近程侦察校射无人机、小型近程侦察无人机、中程高速无人机，于无人作战第二方队中展示了两款攻击无人机、反辐射无人机，在无人作战第三方队中展示了两型侦察干扰无人机。显示我国无人机在高速、隐身等方面处于先进水平。

相比较有人机，无人机最主要的优势在于经济性、使用场景广泛、避免飞行员伤亡、避免人为失误的优点，但也存在自主性低、飞行易受干扰、指挥滞后的缺陷。无人机目前在战场上主要实现四个方面的功能：侦察与态势感知、攻击制空、电子对抗、支援辅助。无人机将逐渐成为战场上不可或缺的力量。

我们认为，未来无人机的作战模式将更加多样性，从独立作战到群式作战，从察打为主到多功能全方位辅助有人机作战。我们推测未来无人机的作战模式主要有四种模式：一是具有一定自主性的无人机，独立承担包括侦察、攻击、制空等方面的作战任务。二是无人机群式作战，充分发挥无人机低成本、可损耗的优势，拓宽特定应用的范围，飞行持续时间和最大有效载荷。三是作为伴飞僚机等，辅助有人机进行工作。四是战略支援。在这四类需求的牵引下，智能化、隐身、高速、长航时的无人机将是未来发展的方向。

国防军工

维持

强于大市

黎韬扬

litaoyang@csc.com.cn

010-85130418

SAC 执证编号：S1440516090001

王春阳

wangchunyang@csc.com.cn

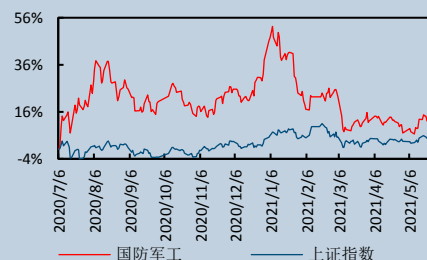
010-85156462

SAC 执证编号：S1440520090001

发 布 日 2021 年 07 月 07 日

期：

市场表现



相关研究报告

目录

一、无人机发展历程	1
1.1 无人机发展历程	1
1.2 主要国家无人机发展情况	4
1.3 中国无人机发展情况	6
二、当前无人机在军民领域中的作用	7
2.1 当前无人机在战场中发挥的作用	8
2.2 民用无人机当前的作用	10
三、无人机未来发展趋势	12
3.1 未来无人机的作战模式	12
3.2 民用无人机的发展趋势	16
四、风险提示	18

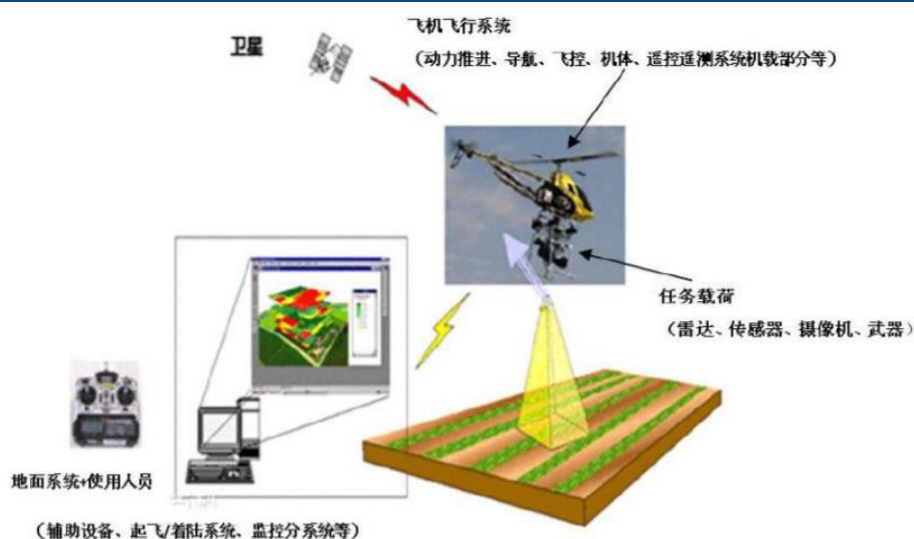
一、无人机发展历程

无人驾驶飞机简称无人机（UAV），是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞行器。与载人飞机相比，它具有体积小、造价低、使用方便、对作战环境要求低、战场生存能力较强、没有人员伤亡和降低人为失误等优点，将成为未来战场中的重要力量。无人机的本质就是用电子设备代替飞行员飞行的飞行器，目前无人机需要地面控制系统等一套系统配合才能实行其功能，这一系统被称为无人机系统（UAS）。

无人机（UAV, Unmanned Aerial Vehicle），是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞机。机上无驾驶员，但安装有自动驾驶仪、程序控制装置等设备。地面、舰艇上或母机遥控站人员通过雷达等设备，对其进行跟踪、定位、遥控、遥测和数字传输。

无人机系统（UAS, Unmanned Aircraft System）一般由飞机平台系统、有效载荷系统（信息采集系统）和地面控制系统三大部分组成。飞机平台系统和有效载荷系统组成了整个飞行器，根据负载能力和实现任务的不同，一个平台可以搭载多套有效载荷系统，实现复杂功能。有效载荷系统是无人机搭载的各种任务设备，如雷达，发射机，摄像机等。地面控制系统是人和无人机有效沟通的枢纽。

图1：无人机系统



资料来源：南洋科技发行股份购买资产暨关联交易报告书，中信建投

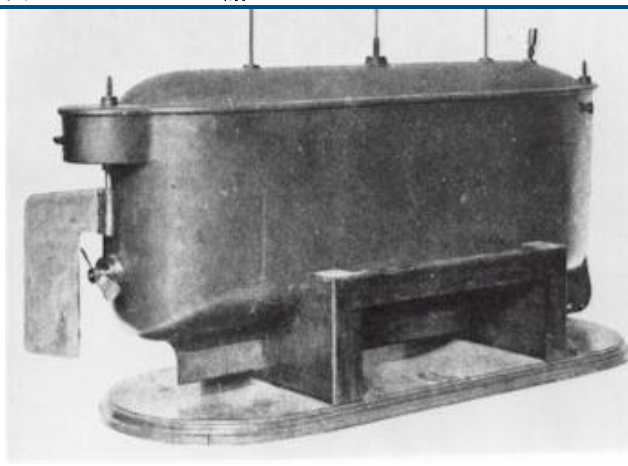
1.1 无人机发展历程

无人机诞生于军事需求。无人机的概念最早在 20 世纪 20 年代出现，自航空技术诞生之初，军方就对无人驾驶飞机的概念很感兴趣，首先研制出飞行炸弹、靶机，然后又推出了无人侦察机。一个世纪以来的全面战争、局部战争是无人机技术进步的主要推动力。

无线远程控制系统和陀螺仪的研发成功形成了第一批无人机操作系统。在一战期间，军方就掌握了足够的航空技术，将飞机应用于空中侦察、打击敌军等方面。早期空战战场的死亡率很高，各国军队自然而然萌生了制造不需要飞行员操作的飞机的想法，而为达成这个目的，需要拥有能够远程指挥、控制飞行的技术。1898

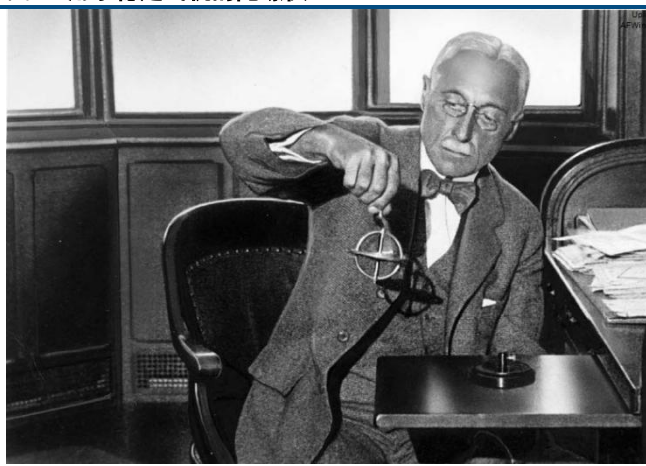
年，塞尔维亚裔美国发明家尼古拉·特斯拉（Nikola Tesla）在一艘名为 Teleautomaton 的船上首次使用了无线远程控制系统；1909 年，美国发明家埃尔默·安布罗斯·斯佩里（Elmer Ambrose Sperry）成功研发出惯性测量仪的雏形——用于稳定飞机的陀螺仪。至此，无人操作飞机的技术储备已初步完成。但是由于此时设计的各种初代无人机在执行任务后无法自发回到起点，这就使得其价值利用程度较低。

图2：Teleautomaton 船



资料来源：光明网，中信建投

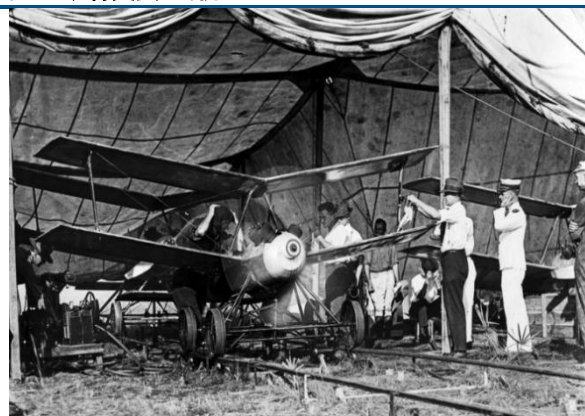
图3：用于稳定飞机的陀螺仪



资料来源：空翼网，中信建投

一战后，出现可回到起点的无人机，无人机可作为靶机使用。在一战后、二战前这段时期，主流思想主张把无人机做成靶机，用来训练炮兵、防空部队和遥控靶机的飞行员。同时，这也是一种回收利用一战大量库存飞机的好办法。英国在 20 世纪 30 年代末把“虎蛾”（Tiger Moth）双翼飞机改造成靶机，将其重新命名为“女王蜂”（Queen bee），这是世界上第一款可以在执行任务后回到起点的无人机，极大地提升了无人机技术的应用价值，使得这项技术有了更广阔的应用前景。蜂王号无人机最高飞行高度 17000 英尺（约合 5182 米），最高航速每小时 100 英里（约合 160 公里），可以认为蜂王号无人机是后世无人机的初代机。

图4：“凯特灵虫”飞机



资料来源：中国航空新闻网，中信建投

图5：“女王蜂”靶机



资料来源：空翼网，中信建投

第二次世界大战期间，德国的飞行炸弹得到了广泛的应用。在二战的参战各方中，德国是唯一能够工业化批量生产并在实战中应用“飞行炸弹”的国家：首先出现的是翼展 6 米、长 8 米的 V1 飞弹，能够携带大约 1 吨炸药，可飞行 200 公里，在飞行速度达到 600 公里/小时的时候，精确度约 12 公里。V1 飞弹更主要的作用是侵蚀盟军斗志，而非摧毁敌方设施。后来，V1 飞弹被各方面性能更加卓越的 V2 飞弹所取代。V2 飞弹由火箭引擎推动，射程 320 公里，飞行速度 5000 公里/小时。在当时，V2 飞弹几乎无坚不摧，甚至可以飞入太空。

德军已经能够利用自己的技术制造出其他型号的无人机。1943 年 9 月，盟军缴获的意大利装甲船“罗马号”（Roma）被一枚“鲁赫斯塔赫”SD1000 飞弹（Ruhrstahl）以前所未有的精确度击中。这种飞弹发射以后，制导团队一直远程遥控飞弹直到击中目标。盟军很多舰船同样难逃厄运，遭到更先进的导弹——“亨舍尔”HS293 飞弹（Henschel）袭击。盟军方面也针锋相对，研发出成熟的应对策略，比如无线电干扰、摧毁导航飞机等。

图6：德军运输 V1 飞弹



资料来源：凤凰网，中信建投

图7：“亨舍尔”HS 293 飞弹



资料来源：新浪网，中信建投

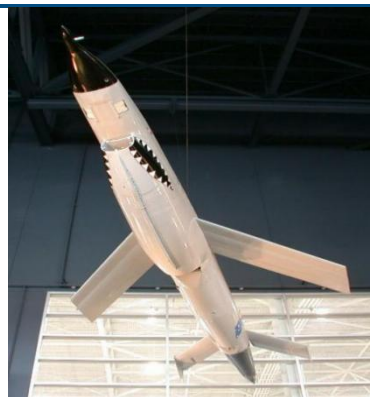
二战结束，冷战落下铁幕，无人侦察机应运而生。冷战开启，大国之间互相警惕，炮兵部队需要高效的侦查方式，而这类任务对于由飞行员操纵的普通飞机来说非常危险，因此，催生了战术无人机（或“无人侦察机”）。无人机以高速低空掠过战场上空，给常规目标或者核武器拍照，然后凭借降落伞着陆，军队立即回收，再洗印胶片。陆军最接近战场，他们可以不呼叫空军协助，转而使用无人机，这一战术让处理信息的时间缩短，实现迅速反击。冷战两侧阵营尽管名义上处于和平状态，其实彼此迫切希望监视对方。美方使用侦察机在苏联境内实施高空侦查，也曾使用“萤火虫”无人侦察机对越南、中国等地进行监视，累计飞行 3400 余次。由于“萤火虫”翼展很小，可灵活投放。

图8：R20 战术无人机



资料来源：每日头条，中信建投

图9：“萤火虫”无人侦察机



资料来源：每日头条，中信建投

尽管美国在冷战时期使用的无人机技术获得了成功，但是，无人机在防空炮火和战斗机面前仍显得脆弱无力，极易遭到攻击。鉴于无人机的缺陷和损失，加上遥控导航技术并没有完全成熟，无人机在美军眼中渐渐失去了价值。美军从越南撤军之后，无人机技术也被束之高阁。

无人机因在反恐战争中发挥了重要作用受到重视。恐怖主义威胁对以色列来说如同芒刺在背，促使其在无人机领域保持领先地位，与美国分庭抗礼，共同引领无人机技术的尖端科技。1982 年，以色列接下了无人机技术研发的火炬，获得举世瞩目的成就。在“加利利和平行动”中，以色列在进攻贝鲁特时，使用无人侦察机与由飞行员驾驶的飞机协同行动，同时，还使用小型无人机作为诱饵迷惑敌方的防御力量。很快，以色列取得制空权，为其展开地面部队行动提供了很大便利。以色列无人机出口量占市场总量的 70%，主要出口南非。

新世纪以来，无人机从侦查为主向查打一体转变。此前，无人机的作用仅仅是发现目标，然后会被敌军飞机或者高射炮击毁。“掠食者”无人机配备武器，彻底扭转了这种劣势。它可以在任务的后半程自动填弹，并探测攻击造成的损失范围，其处理数据的时间大大缩短，而精确度则大大增强。“掠食者”无人机于 2001 年在伊拉克发射了第一枚导弹，之后在也门发动了第二次袭击。

随着电子系统的微型化，无人机发展出单兵使用功能。自 21 世纪初，微型化技术让研制放入背包里的便携式无人机成为可能。如果敌人布下陷阱、准备伏击，装备这种无人机的步兵不必以身犯险就能够看到山丘或者建筑物背后的情况。无人机变成了一种带着翅膀的望远镜。美国天空环境公司研发了 RQ-11 “渡鸦”迷你无人机，固定机翼翼展 1.3 米，质量不足 2 公斤。该无人机配备摄像机和视频接收器，活动范围 10 公里。步兵手持投出这种无人机，起飞后可以通过视频接收器在屏幕上看到图像。在降落时，无人机尾翼转向，无人机随重力落下，撞击地面时，机翼与机身分离成几个部分，而分离的部分很容易重新组装，便于下次飞行。这些特点为 RQ-11 “渡鸦”迷你无人机赢得巨大成功，行销 20 多个国家，销量达到 20000 架。近年来多旋翼无人机发展迅速，军中也得到一定应用。加拿大艾伦研发公司生产出不到 2 公斤重的四旋翼无人机——“艾伦侦察机”，用于在城市环境中收集信息。机上搭载了稳定的陀螺仪摄像机，持续飞行时间约 25 分钟。这种无人机启动时间很短，而且这种无人机坚固耐用、易于操作。

图10：“渡鸦”无人机



资料来源：DVIDS，中信建投

图11：“艾伦侦察机”



资料来源：UAS VISION，中信建投

1.2 主要国家无人机发展情况

美国是目前无人机最大的研制生产国，技术和装备规模都处于领先地位，以色列、俄罗斯、土耳其以及欧洲等国也具有较强的无人机生产能力。特别是近些年无人机在中东战场上发挥了重要作用，各国高度重视军用无人机的发展，军用无人机需求量呈现不断扩大态势。

从用途来看，无人机最早的用途为侦察与打击，后来陆续发展出运输、加油、僚机等辅助功能。早在 1995 年美国就研发出 MQ-1 捕食者查打一体无人机，后来到 2000 年全球鹰的服役使得无人机具有更广的侦察距离。在 2019 年美军无人机分类情况中，“军事情报监视与侦察无人机”占比 61%，“运输无人机”占比 6%，其他加起来则是 33%。由此可见目前“情报、监视与侦察”是仍是美军无人机主要用途，美国也在积极发展无人机的其他用途，最新的 MQ25 舰载无人机有望实现空中加油。

从大小来看，美国无人机从大中型无人机向大中小微全系列发展。上世纪 90 年代服役的无人机以中大型为主，2000 年发展出可单兵携带的潜行者、RQ-11、RQ-12 等小型无人机等，最新的纳米级旋翼无人机 Snipe Nano 只有 140g 重，属于微型无人机，美军还在研制模仿昆虫或鸟飞行的飞行器。美军将起飞重量大于 600kg 的无人机称为重型无人机，介于 150kg-600kg 的无人机称为中型无人机，而介于 20kg-50kg 的无人机则称为轻型无人机。在 2019 年分类情况中，重型占 51%，中型占 26%，轻型则占 23%。

从性能来看，无人机向着高速、长航时、隐身以及装配高性能传感器发展。从美国无人机的发展历程来看，为满足高速、长航时的需求，发动机从活塞动力向涡扇动力发展。新一代侦查无人机如 RQ180 等主打隐身功能，将替代隐身性能较差的全球鹰等老一代产品。传感器也向着有源相控阵雷达、红外、光电复合传感系统发展。

后续来看，随着无人机技术的不断发展，美军无人机系统将向“促进作战装备体系革新”、“作战任务更加多样”、“全维侦察打击”、“突破防御体系的饱和攻击”、“持续骚扰消耗性打击”、“高新技术碾压式打击”等几个大的方向发展。

表1：美军典型无人机

机型	服役时间	功能	服役军种	飞行高度/m	最大速度 Km/h	净重 /kg	续航时间 /h	传感器	动力装置
K-MAX	—	货物运输	陆军 海军	4600	185	2334	≥12	LOS BLOS	莱康明 T35 型燃气轮机
MQ-1 捕食者	1995	察打一体	空军	7620	217	512	24	ASIP-1C 传感器 AN/AAS-52 多光谱瞄准系统 AN/ZPQ-1 合成孔径雷达	涡轮增压四缸发动机
RQ-4 全球鹰	2000	侦察	空军 海军	18000	740	6781	≥32	光电/红外 合成孔径雷达	涡扇发动机
RQ-7	2002	侦察	陆军	4600	130	77	6-9	光电/红外 Tamam POP300	Wankel UAV 引擎
RQ-11 渡鸦	2003	侦察	陆军 空军 海军陆战队	4500	56	1.9	1.5	光电/红外	Aveox 电动马达
扫描鹰	2005	侦察	海军	5950	111	16	≥24	高分辨率昼夜摄像机 热成像仪	活塞发动机
CQ-10 雪雁 A 型	2005	货物运输	美国特种作战司令部	≥5500	61	约 270	19	—	活塞发动机
Stalker	2006	侦察	美国特种作战司令部	4600	93	7	≥8	光电/红外	电动机
RQ-12 先锋	2007	侦察	空军	333	65	6.53	0.75	高分辨率昼夜摄像机	电动机
RQ-15	—	侦察	海军	2400	160	<36	4	光电/红外	活塞发动机
RQ-170	2007	侦察	空军	≥15240	—	—	—	机密	推测是涡扇或涡喷发动机

MQ-9 收割者	2007	察打一体	空军	15420	482	2223	14	AN/APY-8 Lynx II 雷达 AN/DAS-1 MTS-B 光电侦察仪 SeaVue 对海搜索雷达	涡桨发动机
Maveric	2008	侦察	陆军	7620	102	1.16	90	光电/红外	电动机
RQ-20 美洲狮	2008	巡逻	陆军 空军 海军陆战队	3200	83	6.3	≥2	光电/红外	电动机
MQ-1C 灰鹰	2009	察打一体	陆军	8839	309	1318	25	AN/ZPY-1 STARLite 雷达	重型燃料发动机
MQ-8 Fire Scout	2009	察打一体	海军	6100	213	940	8	光电/红外 激光测距仪 激光指示器	Rolls-Royce 发动机
弹簧刀 Switch Blade	2012	单兵	陆军 海军陆战队	3000	157	2	0.17	光电	电动机
MQ-19	≥2012	侦察	海军 海军陆战队	4500	193	13.1	>10	光电/红外 激光指示器	Enya -R120 发动机
RQ-21	2014	侦察	海军 海军陆战队	5900	170	37	16	光电/红外 激光测距仪 昼夜全动态视频摄像机	活塞发动机
Coyote	2014	侦察	陆军	9100	102	5.9	2	KRFS 电子扫描阵列雷达	-
RQ-180	2015	监视	空军	22000		14000	24	可见光及红外侦察设备、 主动电子扫描阵列雷达等	2 台涡扇发动机
Snipe Nano	2017	侦察	-	-	35	0.14	≥0.25	光电/红外	-
MQ-4C	2018	监视	海军	17000	575	6780	30	AN/DAS-3 多频谱光电/红外 AN/ZPY-3 有源相控阵雷达	涡扇发动机
XQ-58	-	僚机	空军	13715	1050	1134	4	-	涡扇发动机
X-61A “小精灵”					734	680			涡扇发动机
MQ-25	≤2024	空中加油	海军	-	-	-	-	光电/红外	涡扇发动机

资料来源: airforce-technology, army-technology, naval-technology, FlightGlobal, 维基百科, 中信建投

1.3 中国无人机发展情况

我国军用无人机的研究起步于上世纪 50 年代末, 当时无人机主要是作为靶机使用, 长空一号(CK-1)高速无人靶机就是在这种背景下诞生的, 并于 1966 年 12 月 6 日首飞成功。无侦 5 是一种在高空、高亚音速条件下飞行, 主要用于军事侦察、高空摄影、靶机或地质勘测、大气采样等科学研究, 执行昼间高空摄影侦察任务的无人机, 也是唯一经历过对越自卫反击战的无人机。

21 世纪以来, 我国研发出了一系列具有中国特色的军用无人机, 已经形成了一些较成熟的无人机产品系列, 例如 ANS301 反辐射无人机、BZK-005 察打一体无人机等, “翼龙”、彩虹”等中大型察打一体无人机在也海外取得较高的市场份额。在 2019 年新中国成立 70 周年国庆大阅兵上, 我国于无人作战第一方队中展示了高空高速无人侦察机、炮兵近程侦察校射无人机、小型近程侦察无人机、中程高速无人机, 于无人作战第二方队中展示了两款攻击无人机、反辐射无人机, 在无人作战第三方队中展示了两型侦察干扰无人机。显示我国无人机在高速、隐身等方面处于先进水平。

表2：我国典型无人机

机型	功能	飞行高度/m	最大速度 Km/h	净重/kg	续航时 间/h	传感器	动力装置
翔龙	侦察	18000	>750	-	10	-	涡喷发动机
彩虹-4A (CH-4A)	察打一体	5300	235	1300	30	高精度四合一光电 合成孔径雷达 北斗卫星定位系统	活塞发动机
彩虹-5 (CH-5)	察打一体	7600	400	3300	40	合成孔径雷达 北斗卫星定位系统	涡桨重油发动机
翼龙-2 (攻击-2)	察打一体	9000	370	4200	20	合成孔径雷达	涡桨发动机
BZK-005	察打一体	7500	-	-	40	-	螺旋桨推进式
ANS301	反辐射		220	200	4	光电视频侦察、事实图像 传输	活塞发动机
WJ-700	察打一体	≥10000	≥700	-	20	光电/红外 合成孔径雷达	涡扇发动机

资料来源: airforceworld, 凤凰网, 央视官方频道, 新华网, 新浪军事, 网易军事, 中信建投

二、当前无人机在军民领域中的作用

无人机按照平台构型分类可分为固定翼无人机、旋翼无人机等。按大小可以分为微型、小型、中型、大型无人机。按高度可分为超低空无人机(0-100m)、低空无人机(100-1000m)、中空无人机(1000-7000m)、高空无人机(7000-18000m)、超高空无人机(18000m 以上)。按用途分可分为军用无人机和民用无人机。军用无人机包括侦察无人机、诱饵无人机、电子对抗无人机、通信中继无人机、无人战斗机、加油无人机、反辐射无人机、靶机等, 民用无人机包括巡查/监视无人机、农用无人机、气象无人机、勘探无人机以及测绘无人机等。

表3：无人机分类

分类依据	具体分类
飞行平台构型	固定翼无人机、旋翼无人机、无人飞艇、伞翼无人机、扑翼无人机
用途	军用 侦察无人机、诱饵无人机、电子对抗无人机、通信中继无人机、无人战斗机、加油无人机、反辐射无人机、靶机、运输无人机等 民用 巡查/监视无人机、农用无人机、气象无人机、勘探无人机以及测绘无人机等
尺度（民航法规）	微型无人机 空机质量≤7kg 轻型无人机 7kg<空机质量≤116kg 小型无人机 116kg<空机质量≤5700kg 大型无人机 5700kg<空机质量
任务高度	超低空无人机(0~100m)、低空无人机(100~1000m)、中空无人机(1000~7000m)、高空无人机(7000~18000m)和超高空无人机(超过18000m)
活动半径	超近程无人机 活动半径≤15km 近程无人机 15km<活动半径≤50km 短程无人机 50km<活动半径≤200km

中程无人机	200km<活动半径≤800km
远程无人机	800km≤活动半径

资料来源：CSDN，中信建投

2.1 当前无人机在战场中发挥的作用

无人机目前在战场上主要实现四个方面的功能：侦察与态势感知、攻击制空、电子对抗、支援辅助。无人机将逐渐成为战场上不可或缺的力量。

一是侦察与态势感知。现代战争中，快速有效地感知战场态势和获取敌方、己方和友方的目标信息，越来越成为克敌制胜的关键。作为无人机最早的用途之一，战场侦察与态势感知是指无人机实时获取、传输和处理并提取战场信息，无人机在其中的作用是为信息获取设备提供一个平台，并构成信息通路中的一个节点。具体而言，就是无人机飞到目标空域进行目标侦察，并将侦察到的敌方海上或地面目标（如航母、作战车辆）信息直接传送给作战单元或通过卫星、浮空器或中继无人机等中继方式传回地面指挥系统。用于侦察与态势感知的无人机通常都装有先进的电子设备，比如光电/红外传感器，侦察、监视雷达等。

ISTAR 无人机是发挥侦察与态势感知作用的一类无人机。ISTAR 代表信息、监视、目标获取、侦察，能够协助作战部队并管理所收集的信息，极大增加战斗力。ISTAR 系统使用无人机进行敌人信息收集，目标定位，和巡视敌方阵地的领空。在这些任务的执行过程中，操作者通过远程控制无人机可以在安全区域执行任务而保障自身生命安全。通过侦察无人机收集此类信息更为有效，而且使士兵免遭威胁。此外，这类无人机结合 IMINT 技术作战的情况在战场中也十分常见。IMINT 技术可以多维仿真展示战场的全貌，通过 IMINT 技术，无人机的 ISTAR 辅助能力可以得到极大增强。在现代战场上，通过运用 ISTAR 无人机，部队显著降低了从战场上收集图像的风险，保障了飞行员的安全。2020 年 3 月 20 日，美国海军陆战队在中东进行了 MQ-9A 死神飞行作战实验，该无人机装备了通用原子航空系统公司的多传感器侦察系统，可以支持美国海军陆战队的前线战场行动，实现战场侦察与态势感知。

表4：典型侦察无人机

机型	国家	飞行高度 /m	最大速度 km/h	净重 /kg	续航时间 /h	传感器	动力装置
搜索者	以色列	6100	194	暂未公布	15	光电/红外	旋缸发动机
全球鹰	美国	18000	570	6781	≥32	光电/红外 合成孔径雷达	涡扇发动机
不死鸟	英国	2440	≥160	157.2	>4	红外 合成孔径雷达	活塞发动机

资料来源：武器百科，谷歌学术，国防科技（期刊），中信建投

二是攻击制空。在现代战争中，对特定的高价值目标实现准确打击以及夺取和保持制空权对战役进程和结局具有决定性的影响。美军用“UCAV”指代无人作战飞行器，无人作战飞行器的作用就是打击目标，这种无人机是一种高度自主的无人飞机，可进行空空作战，且还可向地面目标提供精确的武器发射。“UCAV”的发展能够极大地帮助军队实现准确打击以及夺取制空权。

无人作战飞行器包括：攻击性无人机、制空性无人机、察打一体无人机等，这些无人机的广泛应用使军队战斗力得到显著提高。例如美军列装的 MQ-1 捕食者和 MQ-9 收割者，就曾在阿富汗、伊拉克等地的战争中发挥巨大作用。此外，美国已将战斗无人飞行器运用于巴基斯坦，也门及其他战场上。就目前的结果来看，无人

飞行器的打击是精确有效的，能够以极高的精度和最小的附带伤害来“中和”战场深处的目标，极大地减少了飞行员面临的危险。通过无人机进行攻击或抢占制空权，既具备极高的效率，又能极大减少人员的伤亡。

图12: MQ-1 捕食者

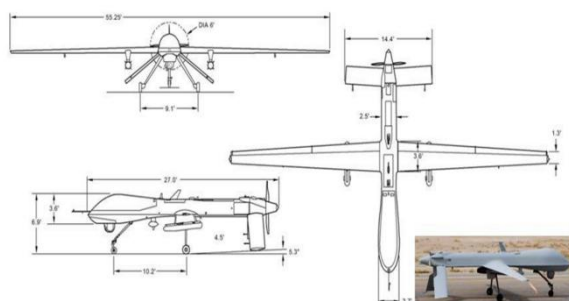


图13: MQ-9 收割者



资料来源: UDEANU DOBRESCU OLTEAN, 中信建投

资料来源: Merkur.de, 中信建投

三是电子对抗。电子对抗就是指敌对双方为削弱、破坏对方电子设备的使用效能、保障己方电子设备发挥效能而采取的各种电子措施和行动，又称电子战。随着人们对无人机研究的持续深入，现在无人机已经可以在电子对抗中占据一席之地。

电子对抗类无人机主要分为三类：电子对抗侦察无人机、电子干扰无人机、反辐射无人机。电子对抗侦察无人机由无人机载体及所携带的电子对抗侦察设备组成，执行侦察任务时，通过对一定频域和空域范围内的各种电磁信号进行搜索、测量和分析，获取电子情报。电子干扰无人机可飞临敌方防护严密的要地上空或在一定空域巡航，对敌方雷达和无线电通信实施抵近式干扰。电子干扰无人机中应用最广泛的是诱饵无人机，即在无人机上安装角反射器、龙伯透镜等无源干扰装置，模拟被掩护的目标，或安装有源干扰设备，转发敌方雷达信号，使其具有与被掩护目标相似的信号特征和运动特性，对敌方雷达实施欺骗。诱饵无人机也可用于诱使敌方雷达开机，协同其他电子对抗侦察设备遂行电子对抗侦察任务。反辐射无人机装有反辐射导引头和战斗部，主要用于压制和攻击敌方地面雷达，削弱防空系统作战能力，掩护己方作战飞机执行作战任务。它可按预编的航线在战区上空长时间巡航待机，一旦搜索到敌方目标雷达的信号，就会立即向雷达攻击；若雷达关机，反辐射无人机可以拉升，继续盘旋搜索，伺机再行攻击。

20 世纪 60 年代，美国就已经研制出了电子对抗侦察无人机。70 年代中东战争中，以色列研制了诱饵无人机用于作战。90 年代以后，随着无人机的飞速发展，美国、俄罗斯、以色列、南非等许多国家纷纷研制不同类型的电子对抗无人机。典型装备如美国的捕食者，都可装载电子对抗侦察设备，执行电子对抗侦察任务。诱饵无人机主要有美国的 BQM-74“石鸡”、以色列的“壮士”等；反辐射无人机有以色列的“哈比”、南非的 ARW-10、美国的“勇敢”、德国的“道尔”等。

四是支援辅助。支援辅助无人机将在未来成为无人机的重要功能。现代战争中，无人机还可以发挥战场支援的作用，譬如所谓的空中补给无人机，其主要作用是将小型货物精准地投递到部队，例如弹药和食品。主要型号包括空中补给无人机型是 CQ-10 雪雁。此外，支援辅助功能还包括加油、通信中继、战场测绘、气象保障等。美军目前正在测试的 MQ-25 就是实现加油功能的支援辅助无人机。

图14: CQ-10 雪雁



资料来源: SCRIBD, 中信建投

2.2 民用无人机当前的作用

目前民用无人机主要应用在工业、农业、商业、公共事业和个人消费五个领域。2020 年我国消费无人机占比为 54.39%，随着无人机在工业、农业、商业的增长，我国工业、商业级无人机占比将会持续提升。

无人机现阶段的民用市场主要是航空拍摄、农业、测绘、电力巡检、警用、物探、林业、气象探测等领域，执行较为简单的任务，整体应用水平不高。随着民用领域的快速发展，无人机将在资源探测、能源、海洋监测、环境保护与监测等国民经济战略行业开展广泛应用。

工业领域对无人机的需求主要体现在基础设施巡检方面。相对于人力，无人机能更好地对输电线路、油气管道、基站塔台、风力发电机、太阳能发电系统、铁路、桥梁等的巡视检查或状态监测对输电线路、油气管道、基站塔台、风力发电机、太阳能发电系统、铁路、桥梁等的巡视检查或状态监测，在这些长距离、大面积和所在位置人员难以到达的监测项目上，无人机显然是低成本的解决方案。其中，无人机在输电线路巡检上的应用最为成熟，不仅目前应用广泛，未来电力巡检领域的无人机需求也将稳步增长。

农业植保无人机的主要用途有液态化学农药喷雾、植物生长调节剂与叶面肥喷施、固态农药与肥料播撒等。中国植保无人机行业在 2015 年达到了行业高峰，一度有超过 200 家无人机企业。但植保无人机同时也存在一些尚待突破的问题，如续航较短、飞控有待提高、航空专用剂研发不成熟等问题。目前我国植保无人机行业的主要商业模式为机构提供服务，2016 年 5 月，我国植保无人机生产厂家超过 300 家。植保无人机行业竞争激烈，服务质量参差不齐。然而，从长期来看，植保无人机代表着农业现代化的大方向，短期的行业问题只是暂时的。规模化经营耕地是无人机植保的有效耕地，但我国农民人均耕地面积小，难以完全规模化。随着我国土地流转深化程度加深，规模化耕地面积有望提高，届时，我国植保无人机发展将得到促进。

无人机在商业领域的应用主要体现在物流领域。目前，物流成本主要集中在最后一公里的配送环节，而无人机的应用则可以大大降低这部分的物流运输费用，亚马逊与 Google 都将无人机配送进行了运用。但我国人口稠密，人工配送规模效应较高，无人机成本优势尚未体现。尤其是城镇地区，人口密度高，甚至已经出现了快递自提、快递柜等解决方案。在这种情况下，人口较少、星罗棋布、交通不便的乡村地区才是无人机配送更好的舞台。2019 年上半年，全国农村网络零售额达到 7771 亿元，同比增长 21.0%；全国网络零售额达到 4.82

亿元，农村市场零售额在其中占比 16.1%。在未来，一方面，随着农村地区网络购物的进一步普及、农村居民可支配收入增加和配送成本的进一步下降（如无人机的应用），农村网络市场的消费潜力将逐步释放，成长为不容忽视的巨大市场。另一方面，很多农村地区的优质农产品和特产限于物流成本，难以从农村运输到全国各地。无人机带来的物流成本降低能让更多的农村优质产品向全国推广，带动农民创收。

公共事业方面的应用主要包括四个方面。一是安防监控巡逻、缉毒缉私等；二是紧急处理：灾害、救援、消防；三是环境与自然资源监测；四是建筑设计测绘、道路设计测绘等。目前的主要应用包括消防（救援）、森林巡检（防火），警用巡逻等。

消防救援无人机。消防无人机可现场侦察、实时追踪火源；同时，辅助救援也是消防无人机的重要功能；携带干粉灭火弹或高压水枪的无人机可直接进行灭火。我国现有高层建筑（超过 24 米）34.7 万栋，百米以上超高层近 6000 栋，数量均为世界第一，且还会持续增加。许多高楼建筑起火只能由消防员深入火场直接扑灭，对消防员人生安全造成极大危险，因此，在我国发展无人机消防非常必要。

森林防火无人机。我国多地森林火灾易发，护林员巡视任务繁重，森林火灾破坏性大，应在预防阶段就及时遏止。森林防火无人机可提高巡视效率。无人机在森林防火方面的应用，可以有效提高巡视效率。无人机通过搭载的摄像头和红外摄像头，可以发现林火早期引起的火焰、烟雾和红外辐射，并及时报告地面站，将林火扼杀在萌芽之中。

执法无人机。执法无人机主要包括警用无人机和城管用无人机。截至 2016 年上半年，全国已有 500 多架警用无人机。无人机在城市管理中的应用也越来越广泛。执法无人机最主要的作用就是进行执法监控。相较于摄像头，无人机的优势主要体现其灵活性。其一，无人机具有其独特的高空视角，可以鸟瞰监控区域，呈现更直观的监控效果；其二，无人机可以有效对监控摄像头的死角进行补充。

表5：公共事业无人机应用场景

应用场景	内容
反恐处突	无人机可以隐蔽地对目标建筑物进行监控
处理突发暴力事件	当城市监控设备被破坏时，无人机作为独立的设备可以深入危险地区完成一系列复杂的侦查任务
应对防暴搜捕	无人机可以对逃犯采取的各种逃跑方式进行跟踪、监视，也可以搭载红外设备，逃犯进行扫描式飞行搜索
处理聚众闹事	警方可根据无人机拍摄的资料对事故责任方进行举证，无人机可以播撒传单，向地面人员传递信息等
监控大型集会	无人机可对会场空中监控，快速机动到任何需要的区域上空，搜索发现地面可疑人员、车辆，提供强有力的空中保障
紧急搜救	无人机可根据基本信息对目标地区进行事先侦查，确定救援对象地理位置与目标情况，为后续救援工作提供信息保障
违章拍照	对违规停车、违反限行、违规掉头等违章行为进行拍照
航拍事故现场	利用无人机可以获得直观画面，准确把握涉事车辆的最后位置，为事故责任认定提供数据支持
快速疏通道路	在高速公路发生拥堵或重大事故时，滞留车辆可能长达数千米，无人机可以快速采集完整现场信息，明确堵点
交通流量统计	无人机可以对主要路口和重要路段进行全方位高空视频采集，并长期保存，以供大数据分析使用
市容环卫	进行沿街立面装修的监管，招牌、广告牌设置的监管，渣土运输、消纳的监管，店铺超出门窗经营，沿街晾晒等
市政公用	检查往雨水管道排放污水，用消防栓取水，挖掘道路等是否经过审批
城市规划	查处违章建筑
城市绿化	查处破坏树木、破坏绿化设施等行为
环境保护	检查经营场所噪音污染，直接向河道排污，工地不采取措施防止扬尘等
工商管理	处罚无照的流动摊贩

资料来源：中信建投

无人机在个人消费领域同样有旺盛需求。2013-2020 年，全球消费级无人机市场规模从 15 亿元增长至 250 亿元左右，年复合增长 170%。在作为拍摄工具的无人机主要的应用场景中，专业拍摄需求增长的驱动因素在

于更优秀的无人机性能，新闻报道需求增长的驱动因素在于拍摄飞手供给的增加和通信延迟的降低，影视拍摄需求增长的驱动因素在于娱乐产业的发展和拍摄飞手供给的增加。目前国内个人消费无人机市场的扩展性速度极快，但预计将会下降到一个稳定速度。从长远角度来看，消费型无人机的发展要素仍在于技术升级，应用场景拓展与成本降低。

三、无人机未来发展趋势

3.1 未来无人机的作战模式

相比较有人机，无人机最主要的优势在于经济性、使用场景广泛、避免飞行员伤亡、避免人为失误的优点，但也存在自主性低、飞行易受干扰、指挥滞后的缺陷。

表6：无人机与有人机优劣势对比

分类	主要特征	详细描述
无人机优点	搭载效率更高	无人机减少了在保障飞行员方面的重量投入，从而相对增加了有效载荷，提高了搭载效率。
	避免飞行员伤亡等情况	无人机能够执行危险系数更高的任务。它可以深入到敌方军事要地上空实施侦察、干扰、引导、打击等。由于离目标近，因此侦察、打击的精度高，具有一定的作战使用优势。
	隐蔽性更高	无人机广泛采用玻璃纤维和其他透波材料，机体外形尺寸小，发动机功率小，因此，雷达有效反射面积等各种信号特征较小，不易被敌方发现。
	经济性	在设计制造上无需复杂的机体和种类繁多的各种机载设备，只需一些必要的传感器。作战成本也更低，费效比好。而且使用和维护费用低，操纵人员培训相对简单。
	应用场景广	无人机对场地的要求远低于有人机，后勤保障也更容易，有利于战时中大规模部署与使用。
	机动性限制少	现代战斗机机动性的提高始终受到飞行员承受能力的限制，九倍重力的过载已经成为人体可承受载荷的极限，飞行员的身体承受能力已经明显限制了飞机性能的提高。
	可实现工程结构最优	无人机的设计自由度较大。无人机没有驾驶舱及相关的环控救生设备，除降低了飞机的重量和成本外，还放宽了飞机设计的一些限制，如飞机发动机的位置可以更加合理。由于不考虑人的因素，飞机的机动载荷因数可以更高，可以采用更先进的气动布局、结构设计。
	作战更灵活	无人在体积上更为灵活，平台适应性更强；不需要驾驶舱顶篷，可以获得更好的空气动力。
无人机缺点	减少人为错误	无人机因为没有操作员，大部分时间由计算机操纵，所以大大减少了无法按规定的精度、时间、顺序完成操作的问题，可以在最大程度上避免人的主观错误。
	自主性低	无人机独立作战能力不足，智能化程度不足以达到人类的水平。无人机在大部分时间由计算机操纵，无人机不能对付意外事件，实际战斗中常出现误击等问题。
	单机生存能力低	无人机存在单点失效性，生存力低。在与具有较强防空能力的对手作战时，无人机的损失会很大。此外，在战争中一旦敌军摧毁了指挥中心，那么所有无人战斗机便会丧失效用。
	控制滞后	虽然无线电通信能够迅速传播，但无人机在空战过程中反应时间也是至关重要的，通过数据链的人类地面指挥仍会存在信号延迟，使无人机在作战中有一定反应延迟性。
	易受干扰	无人机的飞行速度和航线一般比较固定，很容易受到干扰以及人员因素的影响。

资料来源：中信建投

目前无人机的作战模式主要是进行侦察、打击等任务，无人机率先担负战场侦察、目标锁定、攻击引导等任务，有人机随后负责火力打击、消除目标。美军在阿富汗战争中首次使用“捕食者”无人机，击毙塔利班基地组织二号头目阿提夫，开创了无人机执行攻击任务的先河。另外，法、英、美联军在叙利亚战争中，将“斩首行动”贯穿于空袭的全过程，美军实施的 397 次空中打击中有 145 次由“捕食者”无人机完成。我们认为，未来无人机的作战模式将更加多样性，从独立作战到群式作战，从察打为主到多功能全方位辅助有人机作战。我们推测未来无人机的作战模式主要有四种模式：一是具有一定自主性的无人机，独立承担包括侦察、攻击、制空等方面的作战任务。二是无人机群式作战，充分发挥无人机低成本、可损耗的优势，拓宽特定应用的范围，飞行持续时间和最大有效载荷。三是作为伴飞僚机等，辅助有人机进行工作。四是战略支援。在这四类需求的

牵引下，智能化、隐身、高速、长航时的无人机将是未来发展的方向。

一是具有一定自主性的无人机，独立承担包括侦察、攻击、制空、反潜等方面的作战任务，而智能化、隐身、高速、长航时则是这类无人机所需具备的重要能力。智能化指的是在更为广泛的作战条件、环境因素和更为多样的任务或行动中，使用更多的传感器和更复杂的软件，提供更高层次自动化的行为，其特征通常体现在系统独自完成任务目标，在极不确定的条件下，排除外界干扰，即使没有通信，仍能弥补系统故障所带来的问题，并确保系统长时间良好运行。

空中侦察是贯穿整个作战过程的一项重要作战行动，它能够指挥员提供及时、准确的战场情报。与有人机相比，无人机因目标小、突防能力强、无生命代价等优越性，成为了获取情报的主力。为了进一步优化无人机侦察能力，需要实现高空长航时，以及研发更优秀的航电设备。

攻击方面，无人机在安装目标搜索和火力打击系统后，可用于执行攻击任务。目前实现无人机攻击任务的方式主要有两种，一种是作为载机，发射机载武器，另一种则是安装“寻的系统”和“战斗部”，在探测目标参数后实施自杀式攻击，这也是无人机作为消耗品的体现。进一步提升无人机攻击性能，探索更多的攻击模式将是研制无人机的重要任务。

制空方面，主要指空中格斗无人机。此类飞机具备有人驾驶飞机无可比拟的低空攻击能力和机动能力，且其反射面积小不易被敌方发现及机载雷达截获，因而在空战中具有先机之利。进一步提升无人机隐身性能以及机动性能，是加强无人机制空能力的关键。

反潜方面，与有人驾驶的反潜机相比，无人反潜机更加灵活，更能够应对海上的不利飞行条件。海上环境复杂，有人机执行反潜任务比较危险。由于无人机更加便捷迅速。它可以更快捷地从舰船上起飞，通过挂载开放式声呐或投放声呐浮标等，迅速配合有人机及舰船，形成立体反潜网。此外，相对有人机而言，无人机能够适应长时间的侦察。舰载无人机能够全天候巡逻，有人侦察机虽然也可以进行全天候巡逻，但是受限于人的作息规律，不及无人反潜机。而且无人机航程远，重量小，同样的油量可以完成更远距离的侦察，这也是在广阔的海面进行侦察的一大优势。潜艇隐没在广阔的海洋中，很难通过卫星等手段发现，无人机利用低空飞行和先进的传感技术，能更好侦察潜艇位置；在抵近侦察、登陆渗透、定点清除等特种作战中，舰载无人机可为特种部队提供情报支持、目标指示、应急保障等服务；在岛礁巡逻方面，与巡逻艇和舰船相比，它的飞行速度更快，巡逻效率更高。随着高空长航时无人机的发展，将可能催生出可大大拓展舰队态势感知与预警探测能力的新型舰载无人机。

图15：以色列海苍鹭反潜无人机



资料来源：ISRAELDEFENSE，中信建投

二是无人机群式作战，充分发挥无人机低成本、可损耗的优势，拓宽特定应用的范围，飞行持续时间和最大有效载荷。群式作战是指一组具备部分自主能力的无人机实现无人机之间的实时数据通信、多机编队、协同作战，并在操作员的指引下完成渗透侦察、诱骗干扰、集群攻击等一系列作战任务。无人蜂群作战系统可以填补战术与战略之间的空白，以多元化投送方式快速投送到目标区域执行多样化军事任务，包括与其他武器平台进行协同攻击。

无人机群式作战可以拓宽特定应用的范围，飞行持续时间和最大有效载荷。例如，无人机群式作战时，一架无人驾驶飞机可能会用尽了电池，通过跨机互联，它可以及时分配另一架无人驾驶飞机接管其原先的任务。这样，无人机群飞行范围就可以轻易扩展到第一个无人驾驶飞机的范围之外，飞行超出控制信号范围或在飞行过程中损坏的无人机可以用其他无人机替代。在某些情况下，重量过大的有效载荷还可能分布在多架无人机上，超过了仅一架无人机的有效载荷。大量的无人机还可以用作传感器网络，当单独的无人机被用来跟踪监视多个人时，监控目标的行动轨迹分开时会导致无人机出现无法继续跟踪的问题。使用群体时，每架无人机都可以跟随一个人，而不必选择跟随谁。要克服的技术难题涉及这样一个事实，即除了与地面控制站进行通信外，蜂群中的无人机还必须彼此通信。

目前，美军正在加大力度推进无人机群式作战的相关技术研发。2020年1月，美国戴内提克斯公司宣布，X-61A小精灵无人机已于2019年11月完成首飞试验，由C-130运输机载飞并发射，作战完成后，再被空中回收。“小精灵”发射后，呈现蜂群状态，与其他有人平台协调作战，执行通信中继，配合战斗机执行超视距导弹打击；也可以搭载电子设备或者是反潜设备，执行电子对抗和反潜的作战任务。2020年10月，项目开展了第3次飞行试验，使用了3架小精灵无人机，验证了自主编队飞行能力，但是9次空中对接尝试均告失败，3架无人机在飞行超过2小时后成功伞降着陆。在当前技术水平下，无人机空中回收的难度仍较大。但美国军方仍赋予该项目极大期望，认为其作战潜力较大，希望开展第四阶段的试验，聚焦作战能力验证，目前美国防部正与戴内提克斯公司进行第四阶段谈判。

三是作为伴飞僚机等，辅助有人机进行工作。无人僚机的概念由美军2015年首次提出，其后作为美军及其盟友为未来空中战场设想的重要发展方向。在传统战斗中，僚机要充当辅佐、掩护长机的作用，同样，在无人机伴飞有人机的这一作战模式中，无人机部署在战斗机前方约100公里处打头阵。有人战斗机则在飞往作战区域的途中保持无线电静默，仅接收由无人机、高空侦察机、侦察卫星发送的作战信息数据。到达攻击位置后，战斗机雷达开机，照射目标，指挥前方的无人机发射导弹，展开攻击。这种作战模式下，在无人机保障有人驾

驶战斗机的安全的同时，无人机自主性不足的缺陷也得到了一定的弥补。无人僚机通过和战斗机组成空战系统，采取有利的战术配置和作战协同来抗击敌人，开启了一种高效可行的空战新样式。同时，由于有人机速度较快，这种模式也对无人机的速度提出了更高的要求。这一作战系统具有多方面优势。

首先，无人机在后排冲锋，承担了被击落的风险。在空战中，飞行员的伤亡是不可估量的损失。优秀战斗机飞行员的培养往往需要投入巨大的人力、物资、时间成本，而飞行员本身对战斗的经验、其本身的战斗机操作技能和战斗机相关知识、以至于积累的对所处作战环境等的知识都具有不可估量的价值，经验丰富的飞行员还能指导培养新一代飞行员，提供宝贵的知识。而无人僚机的掩护和辅助作用则极大保障了飞行员的安全，加上无人僚机成本相对低廉，可以将战斗的损失降到最低。

其次，战斗机隐蔽接敌，提高了攻击的突然性。相较于有人机，无人机天生具备更强的隐蔽性。有人机受限于结构与材料等多方面因素，往往隐身性有限，而无人机广泛采用复合材料和其他透波材料，机体外形尺寸小，发动机功率小，因此，雷达有效反射面积等各种信号特征较小，不易被敌方发现。敌方雷达探测到有人机较容易，而探测到无人僚机则较困难。在战斗中，敌方注意力容易集中于有人机，而在有人机接近的过程中，无人僚机早已可以出其不意加速接近并攻击敌方，极大提高了攻击效率。

再次，打击源多样化，增加对方反导系统压力。在无人机和有人机都对敌方进行了攻击后，敌方反导系统必须针对多个对象进行防御。这一点有效地分散了敌方反导系统的攻击力，增加了敌方防御系统的压力。双重攻击下敌方往往更难防守，而导弹本身也更容易击中目标，提高了攻击方的效率。

最后，缩短了无人机反应时间，因而能有效提升打击效率和生存能力。由于传统的远程控制无人机在空战过程中由利用数据链的人类地面指挥仍会存在信号延迟，使无人机在作战中有一定反应延迟性，攻击命中率不如有人机。在与有人机伴飞的模式中，数据传输时间显著缩短，提高了无人机攻击的命中率，从而达到攻击有效性提高的效果，真正达到了“1+1>2”的配合。无人僚机通过和战斗机组成空战系统，采取有利的战术配置和作战协同来抗击敌人，这种尝试与创新，或将改写当下的空战规则。

美军一直积极投入无人僚机的研发。2019年7月15日，美国XQ-58“女武神”无人机近日在美国本土亚利桑那州的尤马空军基地进行了第二轮试飞，美军对外宣布称该次试验成功。而有其他相关消息表示，美军计划把XQ-58升级成为F-35战斗机的无人僚机。XQ-58“女武神”无人机采用涡扇发动机作为动力，以便与F-35战斗机的速度匹配，同时该机把进气道转移到飞机背部，以机身彻底屏蔽了进气道，从而显著减小雷达反射面积。XQ-58无人机可携带各种制导武器，是F-35战斗机提升战斗力的有效补充。

图16：飞行中的 XQ-58 “女武神” 无人机



资料来源: pholder, 中信建投

此外，波音公司也称在为澳大利亚军方研制无人僚机。第一架波音公司“忠诚僚机”无人机于 2020 年 3 月启动生产。2020 年 5 月，波音澳大利亚公司发布了显示详细信息的图像。波音空中力量组合系统原型机于 2020 年 10 月在澳大利亚皇家空军基地安伯利进行低速滑行测试。波音空中力量组合系统后于 2020 年 12 月在一个未命名的偏远地点进行了高速滑行测试。2021 年，原型机首次进行试飞。该机目前仍在研发中。

四是执行通信中继、空中加油等战略支援任务。无人机通信中继是指在两点之间，由于遮挡距离的存在，双方无法直接进行通信，便采用某些无人机在空中进行转接来实现跨视距的两点间通信。空中加油是指利用无人机给有人机进行加油，美军现在正在测试的 MQ-25 无人机就是一种大型空中加油无人机，据新华社快讯，在 2021 年 6 月 4 日的一次测试中，已成功实现无人机在空中给有人机加油，在航空史上尚属首次。类战略支援无人机的应用或将在未来给军队战斗力带来极大的提升。

从时间上来看，十四五期间查打一体的高速隐身长航时无人机、伴飞僚机、单兵无人机、无人直升机以及中小型无人机将得到发展。5-10 年后，攻击无人机、制空型无人机、加油无人机、大型货运无人机、临近空间无人机将成为发展的主流。

3.2 民用无人机的发展趋势

回顾民用无人机的发展，可以看到它主要呈现以下三个特点：

第一，无人机是典型的军工科技民用产业。无人机诞生于军事需要；鉴于无人机具有低成本、低损耗、零伤亡、可重复使用和高机动性等独特优势，20 世纪末，无人机技术从军用领域向民用领域泛滥。开始广泛应用于植物保护、遥感等民用领域。

第二，技术进步和成本降低是无人机发展的动力。无人机产业化发展阶段主要受技术进步和成本降低驱动。无人机的民用化可分为两个阶段，第一阶段是从 1990 年到 2010 年，小型化的惯性导航系统和开源的飞行控制使无人机从军用扩展到民用，无人机进入生活，主要受航模爱好者的欢迎。第二阶段是 2010 年以来，由于电子产品的快速发展，相关电子元器件价格大幅下跌，消费级无人机市场爆发，大疆等优秀企业涌现。

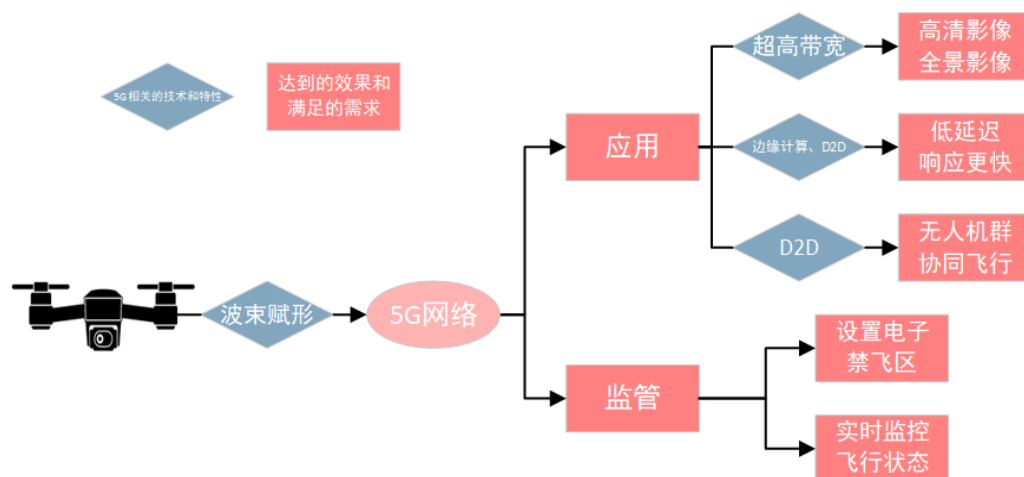
第三，政策和成本问题是制约无人机发展的主要问题。目前制约无人机的两个最重要的问题是政策和成本问题。制约无人机发展的问题主要有：政策不完善、低空空域开放程度低、无人机管理体系不成熟。制约无人机产业化的另一个重要问题是，无人机还没有实现真正的自主飞行，仍然需要大量的飞行控制器，导致无人机运营成本仍然较高。

展望未来，我们认为智能化发展、5G 的广泛应用和电池技术的发展或将把无人机的技术水平带入一个新阶段，推动无人机产业发展迈上新台阶。

第一，以 AI 为代表的智能化技术有效提高无人机自主飞行能力，降低无人机成本。深度学习、计算机视觉、SLAM 等技术在无人机上的应用和成熟，将使无人机获得可靠的自主环境识别、自主避障能力，无人机自主完成任务的可靠性将大大提高。

第二，5G 技术将大大赋能无人机，能够有效拓展无人机的应用场景、解决监管问题等的技术基础。目前制约无人机产业发展的壁垒主要是通信能力的欠缺。5G 可以覆盖 300 米以上的空域，将使无人机在通信能力方面实现巨大突破，实现真正意义上的“自主飞行，远距离遥控”，从而使得无人机飞行范围拓展。二是 5G 的超高带宽带来了超高图像实时传输，无人机将会在越来越多的工业、娱乐等应用场景受到欢迎。第三，低时延性决定无人机智能化程度将得到提高，无人机工业应用得到了大幅的加速。四是 D2D 及海量接入提高无人机集群协同作业能力。五是 5G 的应用将提高监管能力，从网络端消灭“黑飞”。随着 5G 产业化浪潮来袭，我们认为大部分限制无人机大规模应用的障碍将被突破，无人机产业化之路有了更坚实的技术基础。

图17：5G 网络对无人机应用场景的拓展



资料来源：中信建投

第三，电池技术的进步将增强无人机续航能力，提高无人机经济效益。目前在无人机上应用较为广泛的聚合物锂电池，大多只能支持无人机续航 40 分钟以内，无人机的活动空间受限很大。未来无人机若能应用更为持久而可靠的动力（如氢燃料），无人机在提升续航的同时，也能够解锁更多的应用场景。

四、风险提示

- 1、无人机列装进展不及预期；
- 2、武器装备采购量不及预期；
- 3、批量采购可能会导致采购价格下降。

分析师介绍

黎韬扬：军工行业首席分析师。北京大学硕士。2015-2017 年新财富军工 行业第一名团队核心成员，2015-2016 年水晶球军工行业第一名团队核心成员，2015-2016 年 Wind 军工行业第一名团队核心成员，2016 年保险资管最受欢迎分析师第一名团队核心成员，2017 年保险资管最受欢迎分析师第二名、水晶球军工行业第二名、Wind 军工行业第二名，2018-2019 年水晶球军工行业第四名，2018 年新财富军工行业第五名，2018-2020 年 Wind 军工行业 第一名，2019 年新财富军工行业第四名，2019-2020 年金牛奖最佳军 工行业分析团队，2019 年《财经》研究今榜行业盈利预测最准确分析师。2020 年新财富军工行业入围，2020 年水晶球军工行业第五名。

王春阳：清华大学工商管理硕士，上海交通大学船舶与海洋工程学士，3 年船舶单位工作经验。2018 年加入中信建投军工团队。2018 年水晶球军工行业第四名团队成员，2018-2019 年 Wind 军工行业第一名团队成员，2019 年金牛奖最佳军工行业分析团队成员，2019 年《财经》研究今榜行业盈利预测最准确分析师团队成员。

评级说明

投资评级标准		评级	说明
报告中投资建议涉及的评级标准为报告发布日后 6 个月内的相对市场表现，也即报告发布日后的 6 个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。A 股市场以沪深 300 指数作为基准；新三板市场以三板成指为基准；香港市场以恒生指数作为基准；美国市场以标普 500 指数为基准。	股票评级	买入	相对涨幅 15% 以上
		增持	相对涨幅 5%—15%
		中性	相对涨幅-5%—5%之间
		减持	相对跌幅 5%—15%
		卖出	相对跌幅 15% 以上
	行业评级	强于大市	相对涨幅 10% 以上
		中性	相对涨幅-10-10%之间
		弱于大市	相对跌幅 10% 以上

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：(i) 以勤勉的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，结论不受任何第三方的授意或影响。(ii) 本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

法律主体说明

本报告由中信建投证券股份有限公司及/或其附属机构（以下合称“中信建投”）制作，由中信建投证券股份有限公司在中华人民共和国（仅为本报告目的，不包括香港、澳门、台湾）提供。中信建投证券股份有限公司具有中国证监会许可的投资咨询业务资格，本报告署名分析师所持中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格证书编号已披露在报告首页。

本报告由中信建投（国际）证券有限公司在香港提供。本报告作者所持香港证监会牌照的中央编号已披露在报告首页。

一般性声明

本报告由中信建投制作。发送本报告不构成任何合同或承诺的基础，不因接收者收到本报告而视其为中信建投客户。

本报告的信息均来源于中信建投认为可靠的公开资料，但中信建投对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告所载观点、评估和预测仅反映本报告出具日该分析师的判断，该等观点、评估和预测可能在不发出通知的情况下有所变更，亦有可能因使用不同假设和标准或者采用不同分析方法而与中信建投其他部门、人员口头或书面表达的意见不同或相反。本报告所引证券或其他金融工具的过往业绩不代表其未来表现。报告中所含任何具有预测性质的内容皆基于相应的假设条件，而任何假设条件都可能随时发生变化并影响实际投资收益。中信建投不承诺、不保证本报告所含具有预测性质的内容必然得以实现。

本报告内容的全部或部分均不构成投资建议。本报告所包含的观点、建议并未考虑报告接收人在财务状况、投资目的、风险偏好等方面的具体情况，报告接收者应当独立评估本报告所含信息，基于自身投资目标、需求、市场机会、风险及其他因素自主做出决策并自行承担投资风险。中信建投建议所有投资者应就任何潜在投资向其税务、会计或法律顾问咨询。不论报告接收者是否根据本报告做出投资决策，中信建投都不对该等投资决策提供任何形式的担保，亦不以任何形式分享投资收益或者分担投资损失。中信建投不对使用本报告所产生的任何直接或间接损失承担责任。

在法律法规及监管规定允许的范围内，中信建投可能持有并交易本报告中所提公司的股份或其他财产权益，也可能在过去 12 个月、目前或者将来为本报中所提公司提供或者争取为其提供投资银行、做市交易、财务顾问或其他金融服务。本报告内容真实、准确、完整地反映了署名分析师的观点，分析师的薪酬无论过去、现在或未来都不会直接或间接与其所撰写报告中的具体观点相联系，分析师亦不会因撰写本报告而获取不当利益。

本报告为中信建投所有。未经中信建投事先书面许可，任何机构和/或个人不得以任何形式转发、翻版、复制、发布或引用本报告全部或部分内容，亦不得从未经中信建投书面授权的任何机构、个人或其运营的媒体平台接收、翻版、复制或引用本报告全部或部分内容。版权所有，违者必究。

中信建投证券研究发展部

北京
东城区朝内大街 2 号凯恒中心
B 座 12 层
电话：(8610) 8513-0588
联系人：李祉瑶
邮箱：lizhiyao@csc.com.cn

上海
上海浦东新区浦东南路 528 号
南塔 2106 室
电话：(8621) 6882-1600
联系人：翁起帆
邮箱：wengqifan@csc.com.cn

深圳
福田区益田路 6003 号荣超商务
中心 B 座 22 层
电话：(86755) 8252-1369
联系人：曹莹
邮箱：caoying@csc.com.cn

中信建投（国际）

香港
中环交易广场 2 期 18 楼
电话：(852) 3465-5600
联系人：刘泓麟
邮箱：charleneliu@csci.hk