

2023年军用无人机动力进展

Progress of Military UAVs Engine in 2023

■ 谭米 / 中国航空发动机研究院

2023年，世界局势愈发紧张，俄乌冲突胶着，巴以冲突爆发，无人机作为影响战场局势的关键因素之一，引发了广泛的关注。

美国、欧盟、俄罗斯、土耳其、印度和韩国等国家和地区均加快了无人机研制的步伐，无人战斗机、忠诚僚机、无人货运机和自杀式无人机等多种无人机不断涌现。与此同时，无人机动力也呈现出多样化的特征，除了传统的涡扇、涡轴、涡桨、涡喷和活塞式发动机之外，新型动力也开始在无人机领域崭露头角。

涡扇发动机：高空高速长航时无人机动力首选

涡扇发动机具有推力大、推进效率高优点，多用于无人战斗机、无人加油机与高空长航时无人机等大型无人平台，可满足高速高空高机动长航时的飞行需求。

2023年1月，美国空军研究实验室（AFRL）表示正通过Bandit计划（旨在开发模拟敌方战斗机的无人飞行器）测试未来无人战斗机新推进系统。测试中，AFRL将威廉姆斯公司的发动机与蓝军技术（BFT）公司Fury无人机的碳纤维复合材料推进流道系统进行集成，用以验证发动机的可操作性以及稳定裕度。Fury无人机的设计目标是以有人战斗机的一小部分成本制造同等强大的无人战斗机。AFRL希望借助



Fury无人机推进流道系统试验

Bandit计划缩短自主协作平台的开发周期，在2022年6月确定发动机后，团队仅用6个月就完成了全面试验。

2023年1月，韩国国防发展局（ADD）透露将为韩国无人系统忠诚僚机（KUS-LW）隐身原型机配备乌克兰伊夫琴科进步机器制造设计局开发的带加力涡扇发动机AI322，并计划在2027年6月之前进行KUS-LW的飞行验证。AI322涡扇发动机干推力为24.5kN，加力推力为44kN，此前还被土耳其“红苹果”（Kizilelma）无人战斗机选为动力。

2023年4月，巴西Turbomachine公司宣布开始开发一种推力为27kN的双转子涡扇发动机TF6000，用于未

来的无人机和导弹。TF6000的具体装机对象尚未明确，但Turbomachine公司目前正在为Tupan货运无人机测试其单转子TF12000涡扇发动机，并计划2024年交付。

2023年4月，美国军方文件显示，自2022年9月以来，美国RQ-170“哨兵”高空长航时隐身无人侦察机可能进行了至少9次飞行，以收集俄罗斯军队的情报。美国空军总共拥有20~30架RQ-170，由洛克希德-马丁（洛马）公司旗下臭鼬工厂研制，由一台GE公司的TF34涡扇发动机提供动力。TF34发动机于1971年开始研制，最初用于美国A-10攻击机，发动机推力为43kN，



印度SWIFT模型和“卡佛里”涡扇发动机模型

耗油率为 $37.9\text{kg}/(\text{kN}\cdot\text{h})$ 。

2023年8月，美国海军宣布推迟MQ-25“黄貂鱼”无人加油机的初始作战能力（IOC）日期至2026年7月9日，比最初的计划时间推迟了近2年。这是由延长的设计审查、生产故障和供应链中断多种因素导致。“黄貂鱼”由1台罗罗公司的AE3007N涡扇发动机提供动力。AE3007N是AE3007系列发动机的最新型号，推力为40kN。该系列的另一型发动机AE300H推力为42kN，是高空长航时无人机RQ-4“全球鹰”的动力。

2023年12月，土耳其航空航天工业公司（TAI）宣布安卡（Anka）-3无人战斗机完成首飞，飞行时长1h10min，飞行高度达到2400m。该无人机采用无尾飞翼布局，最大起飞质量约为7t，主要用于执行空地打击、纵深打击和摧毁/压制敌防空等任务。安卡-3的动力装置是由乌克兰供应的23kN推力级的发动机，具体型号尚未公开。

2023年12月，印度国防研究与发展组织（DRDO）宣布对其隐身飞翼飞行试验台（SWIFT）的无尾布局进行了测试。SWIFT是印度Ghatak无人战斗机的缩比验证机，旨在验

证其隐身性和高速着陆技术。SWIFT目前由俄罗斯的36MT涡扇发动机提供动力，后续将采用印度燃气涡轮研究院（GTRE）开发的推力为4.4kN的小型涡扇发动机（STFE）。Ghatak无人机将装配GTRE开发的推力为48kN的“卡佛里”（Kaveri）无加力涡扇发动机。GTRE计划在2024年完成“卡佛里”发动机认证，2026年批量生产。

涡轴/涡桨发动机：受中空长航时察打无人机青睐

涡轴/涡桨发动机常用于中空长航时无人机和无人直升机等。与活塞式发动机相比，涡轴/涡桨发动机具有结构紧凑、振动小、噪声小、推进效率高和功重比大等优点；与涡扇发动机相比，涡桨发动机还有耗油率低的优点。

2023年11月，美国通用原子航空系统（GA-ASI）公司在英国“威尔士亲王”号航空母舰上演示了“莫哈韦”（Mojave）无人机的短距起降能力。“莫哈韦”无人机是“捕食者”家族的最新成员，可执行长时间的武装监视、侦察和攻击任务，适合用于分布式作战以及远征行动。动力装置是罗罗公司的M250-B17F涡桨发

动机，额定功率为335kW，耗油率为 $0.371\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。M250-B17F发动机是M250涡桨发动机系列中功率最大、耗油率最低的型号，能给“莫哈韦”无人机提供25h的续航支撑。

2023年6月，法国国防承包商图尔吉斯-盖拉德（Turgis & Gaillard）公司在巴黎航展上展示了5.5t级中空长航时无人机阿洛克（Aarok）的原型机。该机计划在2025年完成一系列自费适航测试。阿洛克无人机尺寸只有“欧洲无人机”（Eurodrone）的一半，成本也大大缩减，可在简易跑道上起降。原型机目前由1台895kW的PT6涡桨发动机提供动力，后续可能选用赛峰集团的阿蒂丹（Ardiden）TP或GE公司的“催化剂”（Catalyst）涡桨发动机。

2023年9月，美国空军特种作战司令部（AFSOC）负责人提出未来MQ-9“死神”无人机可能作为“母舰”，发射较小的无人飞行器，为联合部队建立传感器网络或通信路径。MQ-9“死神”中空长航时察打无人机由通用原子航空系统公司研制，动力为1台功率为700kW的霍尼韦尔公司TPE331-10涡桨发动机。2022年，通用原子航空系统公司曾在其MQ-9B无人机上测试了普惠加



“欧洲无人机”和“催化剂”涡桨发动机

拿大公司的PT6E涡桨发动机，功率相比之前提升了30%。

2023年11月，空客公司宣布由西班牙国家航空航天技术研究所（INTA）对中空长航时“欧洲无人机”的推进系统进行地面测试。空客西班牙防务与航天公司将向INTA交付发动机、机舱和发动机安装系统，并在塞维利亚的工厂组装。“欧洲无人机”采用2台GE公司的“催化剂”涡桨发动机作为动力。“催化剂”发动机于2021年9月首飞，功率范围625 ~ 1210kW，吸收了GE公司大型商用涡扇发动机的多项技术，相比于同类产品燃油消耗降低了20%。

涡喷发动机：低成本可消耗无人机动力的有力竞争者

涡喷发动机适合高速飞行，常用于高速无人侦察机、无人靶机、无人巡飞弹等。虽然相比涡扇发动机耗油率偏高，但其部件较简单、制造成本较低等特点适合大规模迅速生产，近年来引起多方关注。

2023年4月，乌克兰向俄罗斯发射图-141“雨燕”高亚声速无人攻击机，被俄方电子对抗系统发现

并破坏其导航系统，失去控制后坠毁。据公开统计数据显示，俄乌冲突爆发后，乌克兰已经发动了29架“雨燕”无人机，曾炸毁俄军战略轰炸机基地。该无人机由苏联生产，最高速度1110km/h，作战半径可达1000km。“雨燕”无人机的动力装置为1台推力为20kN的KR-17A涡喷发动机，由当时的乌法发动机制造生产联合体制造，1979年开始量产。

2023年6月，捷克航空航天公司PBS与乌克兰伊夫琴科进步机器制造设计局签署了一份谅解备忘录，以开发一种巡航导弹、反舰导弹和可消耗无人机用新型涡喷发动机AI-PBS-350。AI-PBS-350发动机推力为3.4kN，质量仅为51kg，耗油率为

120kg/ (kN·h)，包含4级轴流压气机和单级涡轮。

2023年12月，美国国防承包商Anduril公司推出了一款名为“走鹃”（Roadrunner）的可重复使用、垂直起降高亚声速无人飞行器。该飞行器携带高爆炸性弹头，可用于识别、拦截各种空中威胁尤其是无人机。单架“走鹃”成本为数十万美元，将配备2台Anduril公司自研的低成本涡喷发动机。目前Anduril公司并未透露发动机的具体参数，只声称其拥有良好的大过载机动性能。

活塞式发动机：战术级无人机的性价比之选

活塞式发动机是无人机最早、最广泛使用的动力装置，技术成熟，鉴于其良好的经济性和可靠性，一直在中低空、中低速战术无人机领域占据主导地位。

2023年5月，美国通用原子航空系统公司完成装备功率为149kW的HFE 2.0重油发动机的增程型“灰鹰”无人机首飞。美国陆军正在考虑使用HFE 2.0发动机取代增程型“灰鹰”无人机目前使用的134kW的重油发动机。HFE 2.0项目于2016年



AI-PBS-350涡喷发动机



“走鹃” 垂直起降无人飞行器

由通用原子航空系统公司启动，目标是设计和开发更可靠、更耐用的活塞式发动机。通用原子航空系统公司还联合通用原子电磁系统（GA-EMS）公司来设计和制造该发动机的双无刷发电机，大大减少了现场维修保障成本，并增加50%的电力输出。该发动机也是目前美国陆军正在资助开发的现代化“灰鹰”25M

飞机的基础，以支持未来的多域作战（MDO）任务。

2023年5月，空客公司和法国国防部武器装备总署（DGA）联合完成了VSR700垂直起降无人机系统首次飞行试验。VSR700是一种轻型军用战术无人直升机，隶属于法国海军的舰载无人机系统（SDAM）项目，将部署在法国的欧洲多任务护卫舰

（FREMM）上。VSR700动力装置为1台功率116kW的Thielert Centurion 2.0柴油活塞式发动机。Thielert Centurion2.0发动机采用水冷、涡轮增压，配备全权限数字式电子控制（FADEC）系统，以及减速齿轮箱驱动的恒速螺旋桨，可有效降低螺旋桨噪声。

2023年11月，土耳其TB-3舰载无人机首飞成功。该机最大起飞质量为1450kg，有效载荷为280kg，比TB-2有大幅提升，可短距起降，承担侦察、打击和防空等任务。TB-3舰载无人机将部署在土耳其海军“阿纳多卢”号轻型航空母舰上，该航空母舰号称是全球首艘无人机航空母舰，于2023年5月开始服役。TB-3无人机配备功率为128kW的土耳其自产TEI PD170柴油活塞式发动机。该发动机专为中空长航时无人机研发，拥有两级串联涡轮增压系统，可以使用JP-8或Jet-A1燃料，干质量162kg。发动机于2018年12月27日进行了首次飞行测试，已经进入批量生产阶段。



TEI PD170柴油活塞式发动机和TB-3舰载无人机

新型动力：在多种无人机领域大显身手

2023年，新型动力越来越多地用于无人机。相比有人机，无人机在验证一些新型动力技术上更安全也更灵活，有益于提升新型动力的技术成熟度。

混合电推进系统

2023年3月，西科斯基公司提出将建造混合电推进验证机(HEX)，是一型垂直起降远程无人机。飞机最大起飞质量超过3175kg，航程超过926km。HEX项目将基于GE公司正在为美国国家航空航天局(NASA)和美国军方开发的混合电推进系统，GE公司将提供1台功率为2312kW的CT7涡轴发动机、1台1MW级发电机和相关的电力电子设备。

氢动力

2023年4月，德国初创企业AeroDCS GmbH公司宣布获得德国莱茵兰-普法尔茨州34万欧元的创新基金，以开发氢动力无人机。该无人机可以飞行10h，最大起飞质量为25kg，有效载荷为8kg，其氢动力系统是普通电池和氢燃料电池的组合。

2023年5月，新加坡H3动力公司和澳大利亚无人机制造商Carbonix公司宣布将开发和生产首个澳大利亚氢电垂直起降无人机。H3动力公司此前发布了一项突破性的氢电力短舱技术，利用分布式氢-电推进技术解放了主机身，为更大的传感器或更多的货物腾出了空间，有利于长距离货运。

TBCC 发动机

2023年12月，美国赫尔墨斯(Hermeus)公司完成了高超声速无人飞行器“夸特马”(Quarterhorse)首架缩比验证机“动态铁鸟”的地

面测试。历时37天的测试在美国空军阿诺德工程发展中心(AEDC)进行，对包括电气、液压、气动、航电、转向和推进在内的各种系统展开了验证。“夸特马”无人验证机的动力是基于GE公司J85涡喷发动机的“奇美拉”(Chimera)涡轮基组合循环(TBCC)发动机。赫尔墨斯公司的另一款高超声速无人验证飞行器“黑马”(Darkhorse)于2022年选择普惠公司的F100-229涡扇发动机作为其动力“奇美拉”II TBCC发动机的核心元件。

旋转爆震发动机

2023年12月，美国初创企业金星航空航天(Venus Aerospace)公司与美国NASA马歇尔航天飞行中心合作，实现了旋转爆震火箭发动机(RDRE)持续时间最长的测试。发动机成功地进行了4min的热试车，而大多数此类型的发动机测试只持续1~2s，这意味着RDRE已经做好了进入飞行演示的准备。金星航空航天公司与NASA续签了2024年的合同，将在硬件上测试不同的推进剂组合，以在更高的推力水平上运行，并展示RDRE所承诺的效率增益。金星航空航天公司未来计划用速度为马赫数(Ma)5的无人机对RDRE进行飞行测试。

结束语

2023年，局部冲突的爆发加速了全球无人机的发展。相对而言，动力的发展较为缓慢。虽然当前国外中高端无人机的动力基本上采用成熟发动机进行改进改型，但动力发展格局相较有人机动力有所转变。

美国拥有最完整的动力谱系和最全面的数据，在无人机的发展上

具有先发优势，关注的重点已转向低成本化、模块化，同时加强对混合电推进、TBCC、旋转爆震等新型动力领域的投资，实现军民融合发展；俄罗斯经过与乌克兰2年的拉锯战，充分认识到无人机发展的重要性，然而俄罗斯在无人机动力领域储备不足，限制了其中高端无人机的发展，目前多使用自杀式无人机、商用旋翼无人机等；乌克兰的无人机依赖土耳其和美国的支援，同时依靠苏联的遗产开展发动机外交，为土耳其、韩国等国家无人机提供中小推力涡扇发动机；欧洲近年无人机发展滞缓，多依赖以色列和美国出口，无人机动力发展更是与美国深度捆绑，MQ-25“黄貂鱼”、RQ-4“全球鹰”等无人机动力均来自罗罗北美公司，“欧洲无人机”的动力也由美国GE公司的子公司Avio Aero公司在捷克生产；土耳其借着TB-2的势头乘胜追击，发展了多型无人战斗机、察打无人机，同时以自研或者联合研制等方式开始发展本土中高端无人机动力；印度发展野心不容小觑，无人僚机尚在研发阶段，配套的国产涡扇发动机已在同步推进。

俄乌冲突、巴以冲突从一定程度上展示了无人机的作战场景和作战方式，但大国冲突背景下的无人机作战强度和烈度远不止于此，既需要低成本无人机塑造数量优势，也需要中高端无人机打造不对称优势。而无人机动力正在成为影响未来各国无人机发展实力的关键因素。

航空动力

(谭米，中国航空发动机研究院，工程师，主要从事航空发动机科技情报研究)