

军用无人直升机及其动力装置分析

Summary on Military Unmanned Helicopters and Power Systems

刘腾跃 / 中国航发 王士奇 / 中国航发研究院

军用无人直升机由于无人员伤亡、体积小、造价低、飞行机动灵活、战场生存力强等特点，具有独特的飞行性能及使用价值，也被日益重视。与此同时，其动力装置的发展在借鉴有人机经验的基础上，显示出与有人直升机动力的不同特点和新的趋势。

目前用于摄影摄像、农林植保、电力巡检、消防灭火等领域的消费级、工业级无人直升机，大多属于微型无人直升机，其最大起飞质量通常小于100 kg，多采用电动机作为动力，受制于电池的能量密度，飞行时间极为有限，通常小于1h。而有更大起飞质量和更长飞行时间要求的军用无人直升机，一般需要采用以化石燃料为能源的活塞式发动机或燃气涡轮发动机作为动力。从1962年QH-50C首飞算起，无人直升机作为一型重要的军用装备已经发展了近60年，在战场上承担的任务也越来越多元化：从最初的反潜侦察，到现在的物资运输、通信中继、火力打击等，成为战场上克敌制胜的重要角色。

表1 全新开发军用无人直升机平台及其发动机参数

型号	国家	所处状态	首飞时间	最大起飞质量/kg	续航时间/h	发动机类型	发动机	发动机功率/kW
QH-50C	美国	退役	1962年	1036	—	涡轴	波音T50-BO-8A	224
CL227“哨兵”	加拿大	退役	1978年	227	3.5	涡轴	威廉姆斯WR34-16	37
CL327“卫士”	加拿大	在役	1996年	350	6.5	涡轴	威廉姆斯WTS-125	93
卡-137	俄罗斯	服役	1998年	280	4	活塞式	赫斯2706GR-05	50
贝尔“鹰眼”	美国	取消	1998年	1020	6	涡轴	普惠加拿大PW207D	478
A160“蜂鸟”	美国	取消	2002年	2948	20	涡轴	普惠加拿大PW207D	410
西贝尔S-100	奥地利	在役	2003年	200	6	转子	奥索发动机AE50R	41
萨伯-斯凯尔达V-200	瑞士	在役	2006年	200	5	活塞式	—	40
CL427“美洲豹”	加拿大	在研	2011年	340	8	涡轴	威廉姆斯WTS-125	93
APID 60	瑞典	在役	2015年	160	3~6	活塞式	—	40
卡-175	俄罗斯	在研	2016年	750	—	涡轴	—	—
萨伯-斯凯尔达R-350	瑞士	在役	2016年	150	3	涡轴	杰凯特SPT15	25
SD-150	意大利	在研	2017年	150	5	活塞式	—	37
VTR-300	俄罗斯	在研	2018年	300	5	—	—	—

军用无人直升机概况

表1和表2总结了各个国家已服役或

表2 有人改无人军用直升机平台及其发动机参数比较

型号	国家	设计	所处状态	首飞时间	最大起飞质量/kg	续航时间/h	发动机类型	发动机	发动机功率/kW
MQ-8A/B	美国	改装自施瓦泽330/333	在役	2001年	1430	5~8	涡轴	罗罗250-C20W	313
CQ-24A	美国	改装自K-MAX	在役	2008年	5400	—	涡轴	霍尼韦尔T53-17	1314
Picador	以色列	改装自Dynali H2S	在研	2010年	720	8	活塞式	斯巴鲁EJ25	138
MQ-8C	美国	改装自贝尔407	在役	2013年	2721	15	涡轴	罗罗250-C47B	606
VSR700	法国	改装自Cabri G2	在研	2017年	700	5.8	活塞式	莱康明O-360-J2A	108

正在研发的军用无人直升机基本参数，及其配备的发动机类型和功率参数。从中可以看出，2000年之前只有5款军用无人直升机进行了首飞（表中白色部分），其中以QH-50C和CL227“卫士”为典型代表；而在2000—2010年，以MQ-8A/B和S-100为代表的6款新型军用无人直升机开始亮相（表中绿色部分），并成为了目前在军中服役的主力装备；2010年以后，全新研制的新型军用无人直升机开始大量出现，截至2019年，进行首飞的新机型就达到了8款（表中蓝色部分），各国对新型军用无人直升机的研发投入呈加速上升趋势。

此外还可以看到，无人直升机研发存在两种研发思路。一种是全新设计的无人直升机平台，其优点是结构更为紧凑，空间布局更为合理，能够减少体积和减轻质量。除了美国已经取消的“鹰眼”和“蜂鸟”项目，以及已经退役的QH-50C之外，所有全新设计的无人直升机平台的最大起飞质量均在750 kg以下，大部分更是在400kg以下。另外一种研发路线则是对成熟的有人驾驶直升机进行无人化改造，其优点

是机体设计经久可靠、研发周期短、研发成本低，但最大起飞质量均在700kg以上。美国大量正在服役或研发的无人直升机均采用对有人直升机进行无人化改造的技术路线。

军用无人直升机的动力选择

从表1和表2可以看出，美国主要专注于最大起飞质量为1t以上级别的无人直升机，其载荷能力强、续航时间长。不论是全新设计研发还是采用无人化改造的技术路线，美国的无人直升机项目均采用涡轴发动机作为动力装置，单台最大功率均在300 kW以上。这也显示了美国直升机工业以及涡轮动力技术的强大实力。

对于1t以下级别的无人直升机，动力的选择展示出了较大的多样性。同样是700kg级的无人直升机平台，以色列的“斗牛骑士”（Picador）和法国的VSR700均选择有人直升机无人化改造路线，均采用100kW级汽油活塞式发动机。而俄罗斯的卡-175则采用全新设计技术路线，选用涡轴发动机作为动力装置。俄罗斯做出与以色列和法国完全不同的技术路线和动力装置类型的选择，与其独立的国

防装备思想和雄厚的直升机和动力装置研发实力密切相关。

对于最大起飞质量700kg以下的直升机平台，所需的发动机功率基本都在100 kW以下，甚至在40 kW以下，在此功率范围内，活塞式发动机的效率远高于涡轴发动机。但考虑到军用无人直升机复杂恶劣的应用环境，用户除了对发动机的效率有要求外，还对油料使用、高原特性等提出了更高的要求，因此涡轴发动机的优点不容忽视。例如，加拿大的CL系列无人直升机主要作为指挥自动化技术系统（C²I）的中继站使用，其研发时间已经超过了40年。结合这个系列产品在美国海军以及北约部队的实际使用经验，最终将产品的最大起飞质量由最初的227kg提升且稳定在350kg左右，一直选用涡轴发动机为动力，功率从最初的40kW提升至100kW，续航时间由最初的3.5h提升至8h。而欧洲目前研发的小型无人直升机大部分为200kg级，最初选用汽油活塞式发动机为动力，在后期的改进型中换装重油活塞式或者涡轴发动机（如SD-150无人直升机），以满足舰载装备对燃料适用性的要求。

总体而言，以美国为首的北约国家及其盟友已经形成了完整的军用无人直升机体系，其最大起飞质量覆盖了0.2 ~ 5t的范围。其中，美国完全承担了其中研发难度最大、技术含量最高的1t以上级别无人直升机的研发，探索出了以现有直升机进行无人化改造的技术路线，重点发展了1.5t级MQ-8B和3t级MQ-8C“火力侦察兵”系列无人直升机，采用成熟的涡轴发动机作为其动力装置，功率在300 kW以上。而欧



奥地利西贝尔公司S-100无人直升机



美国海军MQ-8C“火力侦察兵”无人直升机

洲、加拿大、以色列、俄罗斯等国家受技术、资金等因素限制，均选择了1t以下级别无人直升机的研制，选用的动力装置多样化，既包括涡轴发动机，也包括汽油活塞式发动机和转子活塞式发动机，功率从25 ~ 140 kW不等。

无人直升机动力装置发展方向

目前的无人直升机动力装置，无论是航空汽油活塞式发动机还是涡轴发动机，基本上都采用现有的成熟发动机型号，但是新的动力装置形式已经在加速孕育和发展之中。结合目前有人直升机动力装置的发展方向，并从军事用途的需求考虑，重油活塞式发动机和纯电/混合电推进或将成为军用无人直升机的动力选项。

重油活塞式发动机

从现有1t级以下直升机的动力

装置来看，活塞式发动机依然占主导地位，且均为航空汽油活塞式发动机。但是航空汽油安全性和通用性较差，容易造成后勤补给的困难，因此限制了它在军事上的应用。发展使用柴油、煤油等燃料的重油活塞式发动机可以完美解决上述航空汽油燃料的问题。同时，由于压燃式重油活塞式发动机的热力循环效率在小功率范围(<300 kW)内，相比涡轴发动机具有天然优势。例如，捷克PBS公司生产的TS-100涡轴发动机最大持续输出功率为160 kW时，其耗油率为0.51 kg/(kW·h)，而同级别的法国赛峰集团生产的SR305-230E压燃式重油活塞式发动机功率为167 kW时，其耗油率为0.22 kg/(kW·h)，仅为TS-100涡轴发动机的43%，具有压倒性的优势。因此，越来越多的直升机生产商将重油活塞式发动机视为其未来

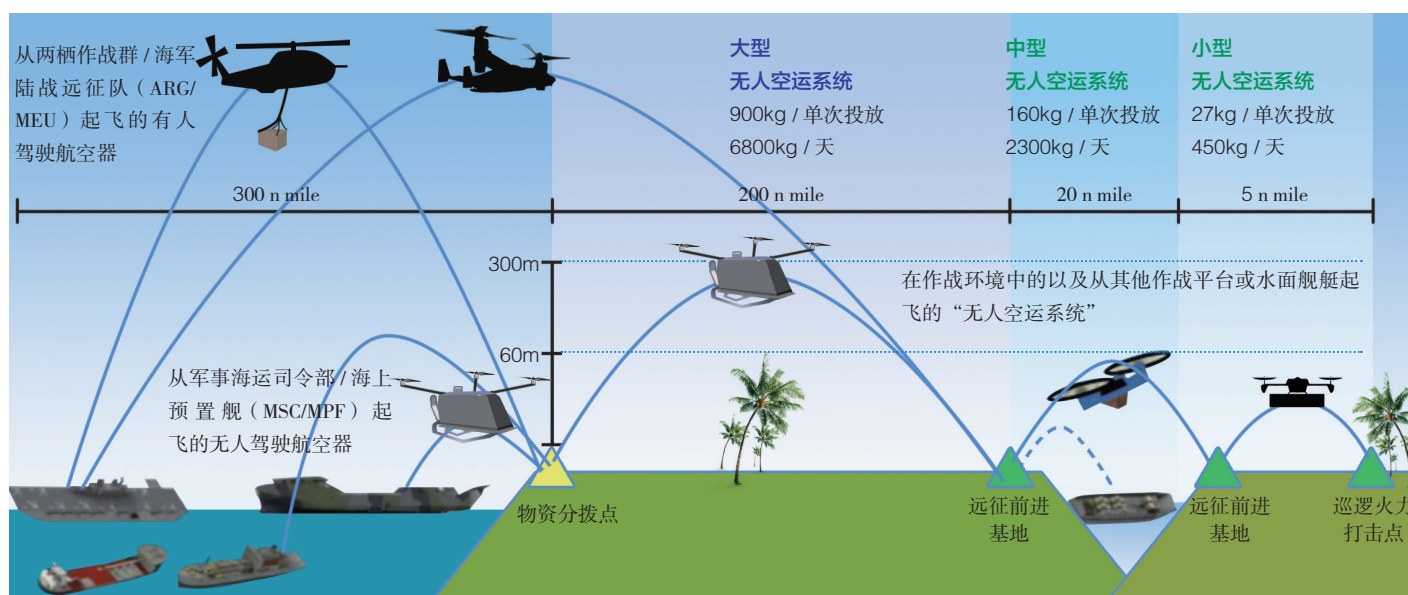
轻型直升机的动力装置。

2018年4月，空客直升机公司在欧洲“清洁天空”(Clean Sky)第二期计划的支持下，与TEOS公司和奥索(Austro)发动机公司合作，完成了330 kW煤油活塞式发动机在H120单发轻型直升机上的测试。在起飞阶段，相比使用涡轴发动机，其油耗降低30%；而在巡航阶段，其油耗降低超过50%；整个任务的平均油耗降低了约42%。2019年3月，澳大利亚三角(Delta)直升机公司推出了世界上首款公开销售的、搭载商用柴油活塞式发动机的双座轻型直升机D2。该型直升机采用美国三角鹰(DeltaHawk)公司的DH200 V4二冲程重油活塞式发动机，功率为134 kW，该机型最大起飞质量为955 kg，航程约为4h。

目前重油活塞式发动机在直升机领域的应用还处于探索阶段，但低油耗的巨大优势使其在长航时无人直升机领域具有巨大的应用潜力。

纯电/混合电推进动力系统

无人电动垂直起降(eVTOL)飞行器在民用领域的快速发展，自然引起了美国军方的极大关注。2020年2月，美国空军启动了敏捷至上(Agility Prime)计划，希望对民用eVTOL飞行器技术的发展成果加以利用，应用到短距运输、搜索救援等军事任务中，从而在短途任务中替代传统直升机、倾转旋翼机等航空器，大幅降低任务成本，打造敏捷任务能力。并且，美国空军希望通过敏捷至上项目与飞机制造商建立全新的合作机制。与传统的军方研发项目不同，敏捷至上项目并不会给竞标企业提供巨额研发资



美国海军陆战队无人空运系统与传统空中运输的配合作运示意图

金，而是为其提供各类测试实验室、试飞空域等政府资源，帮助其更快地获得适航认证，以获得可能的商用成功以及军方采购合同。

美国空军在敏捷至上项目中提出的第一类场景为：运输3~8名乘客或同等质量货物的大型飞行器；可采用全电推进或混合电推进；航程大于161km；飞行速度大于161km/h；航时超过60min。这些指标均高于目前的城市空中交通eVTOL的技术要求。美国空军希望在2020年12月17日之前完成上述应用场景的全尺寸原型机首飞。美国空军将采用最终获胜的设计，并引导其通过美国联邦航空管理局（FAA）、美国国家航空航天局（NASA）、运输部（DOT）以及其他政府和监管机构的认证。2020年5月29日，美国空军宣布，乔比航空（Joby Aviation）和贝塔科技（Beta Technologies）两家eVTOL制造商作为第一类使用场景候选者进入项目第三阶段，能够申请使用空军的基础设施等资源。

另外，从2019年开始，美国海军陆战队和美国陆军联合论证发展一种空中无人物流系统（Unmanned Logistics System-Air, ULS-A）。该系统覆盖小型、中型和大型无人eVTOL飞行器，使用包括传统动力、纯电推进和混合电推进等多种动力形式，将无人eVTOL的用途拓展到货物运输和后勤保障，以降低地面运输的风险，并解放传统飞机去执行其他任务。目前，美国海军陆战队作战实验室已与空军的“敏捷至上”项目开展合作，用来寻找合适的eVTOL飞行器用于后勤保障。

当航空装备电气化后，整个动力系统的技术体系将发生质的变化——从传统的以热机为载体，以气动热力学、精密机械为核心的技术体系，向以高能量密度电池、高功率密度发电机、综合能量管理系统为载体，以电磁学、电化学材料、数据链综合处理为核心的技术体系全面转变。但受限于化学材料、电磁材料技术的发展限制，目前

eVTOL飞行器在军事中的应用主要集中在短距离、轻质量的应用场景，充分发挥其低成本、低噪声、易操作的优势，将作为以传统热机为动力的有人/无人直升机体系的有益补充。

结束语

军用无人直升机在实际应用中的重要性已被证实。以美国为首的北约集团的航空工业实力雄厚，在其军用无人直升机产品的发展过程中，建立起了以美国为核心的北约国家大协作关系，发展了最大起飞质量0.2~5t、面向侦察、运输、反潜、通信中继等的多种用途的全系列产品。另外，在新型号研发上拥有包括涡轴、转子活塞式等全功率谱各类直升机动力的成熟型号可供选择，同时，还在积极探索重油活塞式发动机、纯电/混合电推进等新型直升机动力系统在军事上的应用。

航空动力

（刘腾跃，中国航发，工程师，主要从事航空发动机项目管理）