

从 X-47B 到 MQ-25 看无人机及其动力发展

From X-47B to MQ-25 : Development of UAVs and Their Powerplants

■ 陈玉洁 周军 / 中国航发涡轮院

近年来，美国海军着力探索舰载无人机发展，经过反复摸索与论证，最终呈现出由 X-47B 弹射起飞/拦阻着舰型无人机验证机转为 MQ-25 “黄貂鱼” 舰载无人加油机的发展路径。根据无人机平台任务的改变，其动力装置也随之进行了调整。

X-47B 项目发展与变迁

2004年8月，诺斯罗普-格鲁门（诺格）公司与美国国防预先研究计划局（DARPA）签署了一份 X-47B 无人战斗机研制合同，在“联合无人作战系统”（J-UCAS）项目下按照要求生产了3架 X-47B，并对验证机进行了飞行测试，以验证隐身无尾布局无人机对航母环境的适应能力，提升关键技术成熟度等级。

2006年年底，美国海军提出了“海军无人作战航空系统”（N-UCAS）计划，欲将无人作战飞机引入航母舰载机联队。

2007年2月，美国海军发布了招标书，启动了“无人作战航空系统验证机”（UCAS-D）计划。

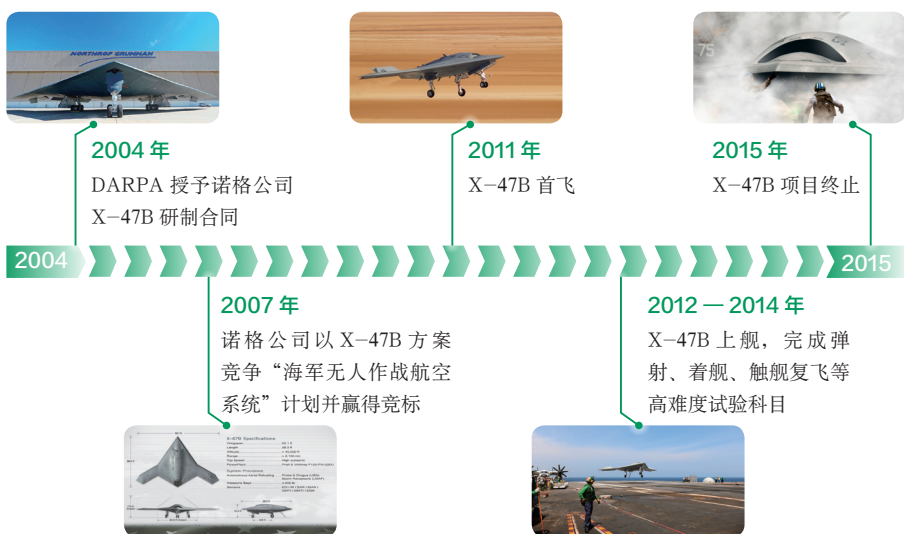
2007年8月，诺格公司凭借 X-47B 最终赢得竞标，获得美国海军授予的一份为期6年的 UCAS-D 合同。

2011年2月，X-47B 首飞，并于2012—2014年完成了多次航母弹射、着舰、触舰复飞等高难度试验，成为世界上第一款能够从航空母舰上起飞并自行回落的隐身无人机。

2015年4月，X-47B 成功进行自主空中加油，成为全球首架实现空中加油的无人机。



X-47B 成为全球首架实现空中加油的无人机



X-47B 研制里程碑

后续项目 MQ-25 启动

2015年，X-47B实现了自主空中加油后，航母舰载无人机验证项目也随之结束。此后，美国海军启动了“舰载无人空中监视和打击”（UCLASS）项目，但项目要求与具体方案却长时间难以确定。

由于美国国会和美国海军对项目的发展定位不能达成一致，加上其他国家拒止能力的增强以及B-21远程轰炸机项目的挤压，UCLASS被迫调整为“舰载空中加油系统”（CBARS）

项目，由此开始了MQ-25“黄貂鱼”舰载空中无人加油机的研发。

2018年8月，波音、洛克希德-马丁（洛马）和通用原子等3家公司参与项目竞标，波音成功胜出，获得价值8.05亿美元的MQ-25原型机的研制和试飞合同。

MQ-25原型机采用机背式进气道，扁平机头的顶部配有3个空气数据传感器、下方装有摄像头，主起落架可收入机翼内侧的机体，机翼折叠后机体大小与F/A-18相当，整

体呈现翼身融合、菱形机身截面、V形尾翼、埋入式进气口、矩形喷管等隐身设计特点。此外，MQ-25原型机机翼下设有加油吊舱挂架，可发射导弹或投掷炸弹，具有一定的空中打击能力。2019年9月19日，MQ-25原型机在圣路易斯机场实现首飞，持续2h的首飞检验了MQ-25的飞行性能和地面控制站的遥控功能。

MQ-25无人机的关键性能为任务加油能力和舰机适配性，并未强调隐身打击能力。此外，美国海军要求在2020年交付首架原型机，在2025年形成任务能力，以加快部署进度。根据这些要求，波音公司为MQ-25无人机选择了AE3007N发动机。AE3007由罗罗北美公司（前艾利逊公司）研制，主要用于支线飞机和大中型公务机，以及“全球鹰”高空长航时无人机，迄今已交付逾3400台。AE3007N为涡扇发动机，推力范围在30~40kN，推力适中；大涵道比，耗油率低；为民机设计，可靠性高；在维修保障方面，存在军民通用性优势。



波音的MQ-25原型机



波音MQ-25在2019年9月19日实现首飞

发展动因

美国海军无人机研发项目由UCLASS转为CBARS，由研发X-47B隐身无人轰炸机到研发MQ-25“黄貂鱼”舰载加油无人机，不仅反映出美国海军对无人机地位作用的认识在不断深化、研发费用紧缩等因素，而且还包括以下动因。

外部动因

近年来，全球多国都在研发各种中程反舰弹道导弹，使航母的安全距离已经大于3700km。这种情况下，只有增加现有舰载机的航程，



波音的MQ-25方案为F/A-18E加油想象图

才能使航母群在反舰弹道导弹打击范围之外完成各种空中打击任务。也就是说，现代空中作战的客观环境，对空中加油机提出了迫切需求。

内部需求

目前，美国海军拥有的F/A-18E/F“超级大黄蜂”舰载战斗机数量足够，F-35C的部署也在逐步增加，正处于早期研制阶段的F/A-XX六代机将具备有人/无人驾驶可选能力。此外，S-3“北欧海盗”舰载加油机退役后，F/A-18F不得不挂载副油箱和加油吊舱转行执行“伙伴加油任务”。因此，对于美国海军舰载航空兵来说，现阶段最需要的是舰载无人加油机，并不是高端舰载无人打击飞机。

技术限制

目前的无人机要完成起飞降落、飞行控制、航线规划和障碍规避等操作，需要接受操作员的控制指令，或者根据预先设定的任务程序进行，尚不能实现完全自主控制。作战时，有人驾驶战斗机飞行员的反应时间约为200ms，除去数据链的传输时间，无人机的地面控制员要在更短的时间内感知战场态势并发出相应指令相当困难，使得遂行空战任务的无人机无法对有人战斗机形成优势，

致使美国海军退而求其次，降低任务要求，选择在X-47B项目的技术基础上研发以空中加油为主、监视侦察为辅的MQ-25。

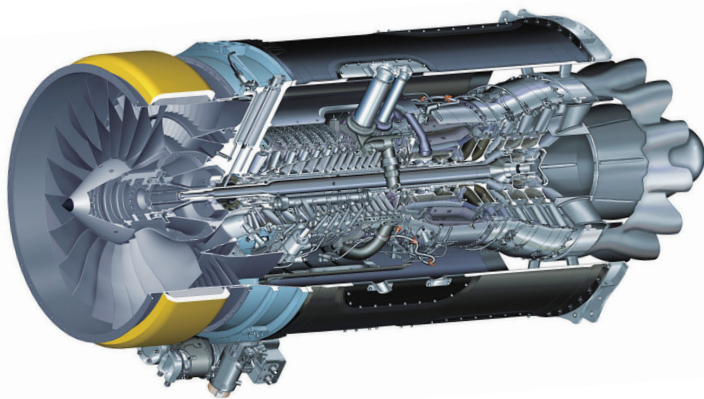
动力装置上，X-47B采用了普惠公司的F100-PW-220U发动机，该发动机的原型机是20世纪80年代初期为F-15战斗机研发的F100-PW-100，是一台技术并不十分先进的发动机。美国海军未来的无人作战飞机对推进系统提出的要求越来越高，而此型老旧的发动机已经无法满足，而且F100系列发动机从未在美国海军大规模服役，这对于装备的后勤保障来说也是不可取的。

动力发展途径

美国在《无人机系统路线图（2005—2030）》中指出：“推进技术和处理器技术是无人机的两大关键技术”，由此可见动力技术的发展对无人机系统的发展起着至关重要的作用。无人机动力装置的发展主要有3个途径：在现有发动机基础上改型；根据设计要求研制全新的传统构型发动机；研制全新构型的动力装置。无论是X-47B配装的F100-PW-220U，还是MQ-25配装的AE3007N，二者都属于现役发动机的改进改型。

改进改型

出于对无人机系统平台低成本和高可靠性的考虑，当前的动力多来源于中程公务机、轻型战斗机等配装的成熟型号，主要是依据无人机平台的作战任务、飞行包线及适用环境等的不同，对成熟型号进行适应性改进。X-47B的动力装置F100-PW-220U就是F100-PW-220涡扇发动机的改型。为了适应X-47B对动力装置的要求，它在基准型的基础上取消了加力燃烧室，并采用环绕的S形喷管取代全状态可调喷管，从而使发动机结构更加紧



AE3007发动机剖面图

凑，红外信号最少，加强了飞机的隐身性。另外，还通过采取降低涡轮冷却空气流量和提高工作温度等手段使F100-PW-220U改进型在最大状态下的推力提高了10%。

齿轮传动风扇（GTF）技术原本是为民用飞机开发的，目前普惠公司正在探索将其衍生型应用到无人机系统中，使无人机具备良好的续航能力。据普惠公司称，如果美国海军UCAS-D计划采用GTF技术，其航程将比采用F100-PW-220U的增加10%~20%。

研制全新的发动机型号

随着无人机平台不断发展，其对推进系统提出的要求越来越多，而在现役发动机不能有效满足无人机任务需求时，就需要研制全新的发动机型号。GE公司认为，对未来无人作战飞机所需的涡扇发动机而言，现有的军用发动机涵道比太小，而民用发动机的风扇直径太大。尺寸太大会增加额外的质量、成本和雷达/红外信号，而尺寸太小又使飞机持续飞行时间太短、任务载荷少。为此，GE公司计划研制新的先进发动机，将小尺寸核心机和适当直径的风扇结合起来，研制出可满足需求的具有较高涵道比的发动机，但是单独为无人机研制一个新的发动机型号需要较高的成本和较长的研制周期。

新型动力、兼顾发展

未来的无人机平台将向高空高速、临近空间超高声速方向发展，传统的涡扇发动机已经难以适应，这就需要研制新型动力装置。美国已经有了新研制高端无人机的苗头，近年来制订了多个计划发展自适应变循环涡扇发动机，

已经研制出验证机型号有XA100和XA101，将会在近期进行试验验证。这种发动机是根据未来“忠诚僚机”战法思路发展，有可能发展成为美国下一代空中优势或穿透性制空有人和无人战斗机的动力装置。2019年2月，GE公司宣布XA100的详细设计已经完成。发动机的航程可增加35%，滞空时间延长50%。若能应用到F-35C上，可以增加780km的航程。

无人机动力装置的发展路线选择须考虑许多因素，例如，采购数量、成本、用途和任务类型，以及所期望的平台能力。无人机发动机的性能、成本以及采购数量在很大程度上决定了发动机是采取全新研制、还是改型的发展途径。如果无人机的性能主要取决于配装的发动机，而且采购数量相当大，那么比较适宜全新研制发动机。不然，则适合在现有发动机基础上改型。当然，还有其他一些影响因素，例如，适配的发动机的推力量级、耗油率等。所以，综合考虑各方面因素，X-47B和MQ-25都采用了现役发动机的改型。

结束语

基于X-47B项目的发展、终止和后续调整，对于无人机及其动力发展有很好的借鉴意义，尤其需要重点关注以下几个方面。

无人化是未来战争的一大发展趋势，无人作战飞机的发展路线应该根据作战需求来确定和调整。X-47B项目从攻击机到加油机的转变，正是针对军事需求的变化而不断调整的结果。我国无人作战飞机的发展，也要从军事斗争准备的实际出发，明确军事需求，并能根据

战争模式的预判而灵活调整，牵引装备技术的发展方向。

无人机动力发展路线的选择是一个综合性问题，要在需求、性能、成本之间折衷。在技术验证机阶段通常考虑用新机加货架发动机或改型发动机的组合进行发展，这样可以大大缩减成本和研制周期，有利于无人机技术的快速发展迭代。但是，既有型号发动机或经适度改进的发动机仍然与无人机及任务需求的匹配有一定偏差，而单独为无人机发展新型发动机的成本又太高，可在有人机动力发展中同时兼顾无人机动力的需求。

从无人机动力的选型上来看，从X-47B到MQ-25都选择了涡扇发动机。因综合性能较好、技术相对成熟，涡扇发动机将成为中大型无人机动力的首选。但具体选用什么性能的发动机应取决于无人机自身的任务需求，例如，X-47B以执行情报、监视与侦察（ISR）和攻击任务为主，所以选用了中小涵道比涡扇发动机F100-PW-220U；而MQ-25以加油为首要任务，则选择了大涵道比涡扇发动机AE3007N。

从长远来看，无人机智能技术在不断发展，任务自主性不断提高，届时无人机战斗机、无人轰炸机、无人运输机、无人加油机等各型机种都将不断涌现。因此，要将目光放长远，坚持动力先行的原则，积极开展无人机发动机的预先研究和自主创新工作，完善无人机动力系统谱系，为适应未来无人化作战场景打下坚实的基础。

航空动力

（陈玉洁，中国航发涡轮院，工程师，主要从事情报研究和科技翻译工作）