

美国轻型侦察直升机及其动力装置的发展

Development of American Light Reconnaissance Helicopters and Powerplants

肖蔓 / 中国航发动研所

目前，美国陆军急需一款高性能轻型攻击侦察机尽快服役，并为其配套GE航空集团新一代T901发动机，从而弥补作战能力缺口，美国“未来攻击侦察机”（FARA）现已进入原型机研制阶段。FARA及T901研发成功将对美国陆军作战效能的提升产生重大影响。

美国轻型侦察直升机的演变

美国陆军曾先后两次启动替代贝尔OH-58D基奥瓦武装侦察直升机的计划均未成功，在多次寻找后继机尝试失败后，再度筹划并启动美国新一代“未来攻击侦察机”（FARA）项目以弥补OH-58D直升机退役后的关键能力差距，最终满足美国陆军未来多域作战能力提升的需求。从OH-58D到FARA相对漫长的演变过程中，美国陆军对飞行平台能力的需求在不断地调整 and 变化（如图1所示，详细参数见表1）。

基准飞机突出侦察能力

20世纪70年代特别是越南战争后，美国陆军开始强化直升机侦察能力，制订了先进侦察直升机计划，



图1 从OH-58D到FARA轻型侦察直升机飞行平台能力变化

希望有一款全天候的、高科技的武装侦察直升机以适应战场侦察需求。贝尔公司对OH-58系列直升机（其原型为贝尔406型轻型多用途民用直

表1 美国轻型侦察直升机数据

直升机型号	巡航速度 / (km/h)	最大飞行速度 / (km/h)	作战半径 / km	最大有效载重 / kg	航程 / km	续航时间 / min
OH-58D	211	232	—	998	496	150
RAH-66	306	324	278	2296	2334 ^①	150
ARH-70	222	270	150	1712	362	140
FARA	360 “不屈”	380 ^②	343 ^③	—	570	160
	“袭击者” X		463 ^④			

① 该数据为转场航程，带外部油箱；

② 该数据为FARA要求；

③ 该数据为360“不屈”所能达到的指标；

④ 该数据为“袭击者”X所能达到的指标。

升机)进行改进,增强了侦察和火力支援能力,参与军方竞标并被美陆军选中。OH-58D直升机于1981年开始研制,1983年首飞,1985年开始服役,2017年退役。OH-58D直升机与AH-64阿帕奇武装直升机配套,主要用于侦察、监视、捕获目标及目标指示,它可以单独执行战术侦察任务,也可协同专用武装直升机作战,或为地面炮兵提供侦察、校炮等辅助工作。总之,这是一款非常成功的专用侦察直升机。

突出隐身的第一次演变

美国陆军于20世纪80年代初开始装备大换血。西科斯基公司的UH-60“黑鹰”通用直升机和休斯公司的AH-64武装直升机已进入批量生产,而OH-58D由贝尔206A民用直升机改型而来,战场生存力不足,面临升级换代。美国陆军由此启动了轻型直升机项目,更加强调战场侦察直升机的作用,希望引入新型高性能直升机来取代现役直升机。通过竞争,波音-西科斯基团队胜出,并获得了28亿美元6架原型机的合同,该原型机被命名为RAH-66科曼奇。美国军方希望采用传统直升机设计研发双发双座、具有隐身效果和类似于AH-64阿帕奇武装直升机强大火力的新型武装侦察直升机,和阿帕奇一起组成美陆军航空兵未来的主力作战编队。1991年,美国陆军启动RAH-66科曼奇隐身武装直升机项目,主要执行武装侦察、反坦克和空战等任务,直升机采用了前所未有的全面隐身技术以穿透和打击敌方防空系统。1996年,科曼奇直升机进行飞行试验。由于美国战略调整、无人机快速发展、技术复杂、进度拖延以及

项目巨额超支等原因,科曼奇直升机经过十几年研发,项目的总投资已经达到70亿美元,但仍未满足预期的能力需求,于2004年在即将投入大规模量产之前被美国国会下令终止。

突出城市作战的第二次演变

由于OH-58D直升机已日趋老化,在持续作战情况下无法满足作战要求,且科曼奇项目已下马,同时美国陆军航空兵部队武器装备的发展由大规模地面战争转向了适应反恐战争的城市作战,在此背景下美国陆军于2004年紧急启动了低成本武装侦察直升机(ARH)项目。2005年美国贝尔直升机公司经过激烈竞争,赢得为美国陆军生产368架ARH-70阿拉帕霍武装侦察直升机的合同,项目金额达22亿美元。美国陆军规定ARH兼有战场侦察、获取作战信息、支持机动作战的功能,并突出城市作战能力,作战半径150km,在目标上空的滞留时间达到1h。ARH的一个突出特点是将探测转塔悬挂在机头下方,更适用于城市作战。ARH-70A武装侦察直升机2006年首飞。ARH项目同样出现进度延迟、费用超支以及系统集成等问题,没有满足预期的能力需求,美国国防部于2008年宣布取消该项目并终止合同。

突出高速和多用途的第三次演变

自2017年OH-58D侦察直升机全部退役后,美国陆军意识到让AH-64阿帕奇武装直升机承担陆军航空兵几乎所有的空地支援和武装侦察任务是不现实的。为尽快弥补能力差距,美国陆军于2018年正式对外发布FARA项目方案征求书,在1年时间内完成了项目概念评审、

需求制定、合同授予方式确定、行业伙伴关系建立以及建议书评估等工作,于2019年正式启动FARA项目。FARA项目最显著的性能指标是速度和作战半径:最大飞行速度为380km/h,是UH-60“黑鹰”巡航速度的1.36倍,是AH-64阿帕奇巡航速度的1.4倍;作战半径为250km。FARA项目是美国陆军未来垂直起降(FVL)项目很重要的一部分,FVL主要是提升美国陆军未来多域战能力,确定了5个“能力设置”(CS)目标,每个CS对应一种或多种未来旋翼航空器。FARA是FVL项目中的能力CS1目标,其目标是向美国陆军提供一种轻型高速攻击侦察机进入美国陆军和海军陆战队服役,取代已退役的贝尔OH-58D基奥瓦侦察直升机,并最终取代近一半的AH-64阿帕奇武装直升机,从而为美军地面部队提供全方位支援。其中,FARA的一个重要任务是通过指挥无人机进入敌方防空圈获取信息,然后发射远程精确制导弹将目标摧毁。

2018年,美国陆军发布FARA项目征询书,有8家公司提交了潜在设计方案。2019年,美国陆军授予波音、贝尔、AVX/L3、卡瑞姆和西科斯基等5家公司各价值1500万美元的FARA初步设计合同。2020年3月,美国陆军评估了这5家公司的设计,包括每个竞标商按预算和进度交付的能力,从中选择了西科斯基的“袭击者”X和贝尔公司的360“不屈”直升机进入原型机竞争项目开发。预计在2020年12月,美国陆军将对这两种方案进行最终设计和风险评估;2021年,开始制造原型机;2022年,进行首次飞行试验;2023年,

原型机开始进行飞行试验，美国陆军根据原型机的实际性能最终确定对FARA的正式需求，并进行武器系统初步设计审查，在全面评估的背景下选取获胜飞机进入后续全系统集成、鉴定和生产阶段；2028年开始量产。

贝尔公司的360“不屈”的旋翼系统借鉴贝尔525民用直升机，总体布局更接近于传统的“主旋翼+尾桨”直升机，设计最大飞行速度为343km/h，35℃下地效最大悬停高度1220m，载弹635kg时能在250km外的目标区域作战90min以上。该机还将配备1台普惠公司的PW207D1涡轴发动机作为辅助动力装置（APU），可在地面维护和例行系统检测中提供电力，也可在盘旋或高速巡航时增加额外功率，与竞争对手复杂的复合直升机设计相比，成本和研制风险都更低。

西科斯基公司是在S-97“袭击者”和X2复合技术验证直升机基础上推出“袭击者”X设计方案，采用

“共轴反转旋翼+推进螺旋桨”的非常规布局，是一种高速复合直升机，设计最大飞行速度超过463km/h，远超美国陆军提出的需求，升限也将超过2700m，低速和高速机动的压坡角度超过60°，将具有大幅优于传统直升机的飞行性能。“袭击者”X集成多项新技术，而且有效载荷大于贝尔360“不屈”。

美国轻型侦察机动力的演变

从OH-58D到FARA，不同轻型侦察机飞行平台选择了250-C30R、T800、HTS900和T901不同功率等级的动力装置，功率从最初的485kW大幅提升至2240kW，以满足美国军方高性能和作战要求。250-C30R为基准型OH-58D侦察机发动机；T800发动机专为第一次演变的RAH-66武装侦察直升机研制，虽然发动机因飞机项目下马而失去军用飞机市场，但其民用型CTS800发动机仍在继续生产和服役；HTS900发动机为第二次演变的ARH-70低成本

本武装直升机的动力，由于该发动机在同类产品中具有较低油耗和较高功率质量比的特性，可满足当时美国陆军转型的需求，但最终也因项目终止失去ARH市场；T901发动机为第三次演变的FARA原型机动力，该发动机虽为美国“黑鹰”和阿帕奇中型直升机换发项目正在研制的一款全新动力，但因其优越的性能和对未来直升机作战能力的影响，而成为美国未来攻击侦察机的动力。直升机平台的不断调整变化导致其动力装置的不断演变（如图2所示，详细参数见表2），这其中有专为满足直升机平台研制的发动机，更有基于能力满足未来多个直升机平台作战能力研制的发动机，由于直升机平台的不确定性导致多个动力均还未真正服役。

基准飞机OH-58D的动力——250-C30R发动机

OH-58D基奥瓦侦察直升机动力装置为1台艾利逊公司（现罗罗美国公司）的250-C30R涡轴发动



图2 从OH-58D到FARA轻型侦察机及其动力的演变示意图

表2 美国轻型侦察直升机动力数据

发动机型号	功率 / kW	功率质量比 / (kW/kg)	耗油率 / (kg / (kW · h))	装用机	单/双发动机
250-C30R	485	4.27	0.360	OH-58D	1
T800	1165	7.79	0.274	RAH-66	2
HTS900	723	5.06	0.310	ARH-70	1
T901	2240	9.36	0.21	360 “不屈”	1
				“袭击者” X	1

机，单台功率为485kW。250发动机的开发始于20世纪60年代初。1958年通过设计研究合同竞争，艾利逊公司被美国陆军选中，开发一新型涡轮发动机，为轻型侦察直升机提供动力。艾利逊公司共研制了4个系列的250发动机，通过功率的不断增长以满足军方不断提高性能和有效载荷的需求。其中250-C30R发动机为20世纪70年代中期开始研制的系列IV发动机，专为提高OH-58D直升机性能、改善安全性和减轻飞行员的工作负担而发展，系列IV发动机比系列I的功率增加约3倍，发动机尺寸变化不大，质量从62kg增至109kg，功率质量比从1.84 : 1增至2.17 : 1。主要的技术改进包括：对离心压气机进行了重新设计，采用了更大的离心扩压器喉道面积，使压气机的空气流量增加9%；对涡轮气动性能进行了改进，使涡轮效率提高，压气机和涡轮的匹配性更好；对涡轮材料进行改进，提高涡轮工作温度；引入全权限数字式发动机控制系统。

第一次演变飞机RAH-66的动力——T800发动机

RAH-66科曼奇直升机动力装置为2台1165kW的T800发动机，该

发动机是轻型直升机涡轮发动机公司(LHTEC)于1985年开始为RAH-66武装侦察直升机研制的单转子涡轮发动机。T800发动机源于美国陆军先进技术验证机(ATDE)计划，为提高直升机的作战生存力，美陆军强调要双发布局。LHTEC公司与美国陆军1985年签订了T800研制合同；1988年获得2.07亿美元的T800定型试验经费；1993年T800定型并获得FAA适航证，同年美国陆军追加1.09亿美元用于T800升级；1996年配装RAH-66直升机验证机首飞；2001年T800功率增长型配装RAH-66“科曼奇”直升机首飞。

T800发动机主要有3个军用型别：T800-LHT-800，起飞功率为995kW，最初计划用于RAH-66A，后用于支持初始飞行试验，以及RAH-66直升机功率增长的研究工作；T800-LHT-801，为T800功率增长型，起飞功率1165kW，LHTEC公司通过提高空气流量17.5%（达到3.7kg/s）和提高涡轮前温度22℃以达到提高功率的目的；T800-LHT-890，是在T800-LHT-801的基础上将功率提高到1253kW（增加7%），2004年RAH-66“科曼奇”直升机取消之前，该发动机已成为RAH-66的生产型发

动机，能够满足所有科曼奇及后续机型的需求。

第二次演变飞机ARH-70的动力——HTS900发动机

ARH-70“阿拉帕霍”直升机的动力装置选用的是霍尼韦尔公司的HTS900涡轴发动，功率为723kW。2003年，美国陆军选择霍尼韦尔公司为其发展一种522kW（700shp）的涡轴发动以用于未来军民用直升机。该项目是美陆军小型重油发动机(SHFE)计划的一部分，前4年合同款项为4500万美元，目标是相比同类基准发动机的油耗降低20%，功率质量比提高50%，全生命周期成本减少35%。

HTS900发动机采用十分成熟的T800涡轴发动机的技术和设计，由双离心式压气机、单晶冷却叶片涡轮、发散冷却燃烧室火焰筒和一个双通道全权限数字式电子控制(FADEC)系统组成。该型号专门为高温高海拔环境设计，升级后的发动机输出功率增加了22%，有效载荷增加了227kg，同时燃油消耗降低了17%。截至2018年，HTS900发动机的总飞行时间已经超过5000h，并通过了美国联邦航空局(FAA)和加拿大运输部的认证。

第三次演变飞机“未来攻击侦察机”(FARA)的动力——T901发动机

为提高中型军用UH-60“黑鹰”武装直升机和AH-64“阿帕奇”攻击直升机的作战能力，替换服役已超40年且提升空间有限的T700发动机，以及为未来垂直起降飞行器(FLV)提供技术储备，美国陆军先后启动了“先进经济可承受涡轮发动机”(AATE)计划(2007—2015

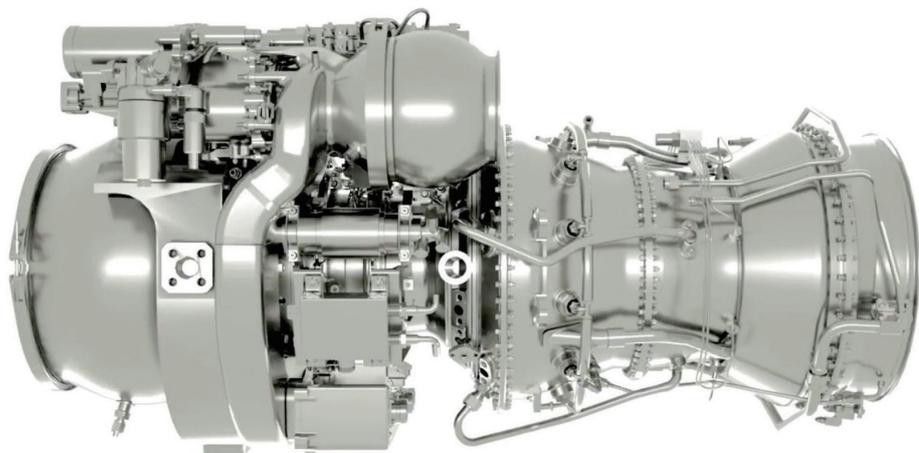


图3 T901发动机

年)和“改进涡轮发动机”(ITEP)计划(2012—2024年)等发动机专项,其目标是研制和取证一型先进的2237kW(3000hp)级涡轴发动机。与现役基准发动机T700相比,目标发动机功率提高50%、功率质量比提高65%、耗油率降低25%、生产和维修成本降低20%~35%,且在高温、高原条件下保持高性能水平。在美国武器装备采办竞争模式的指引下,美国陆军要求保持两家发动机公司参与直升机换发竞争,GE航空集团和ATEC公司(由霍尼韦尔和普惠公司合资成立)分别获得科学和技术阶段合同和初步设计阶段合同。2019年,美国陆军通过全面评估选出GE航空集团的T901发动机(如图3所示)进入工程与研发(EMD)阶段。

为在竞争中脱颖而出,GE航空集团基于军方能力需求不仅凸显自身产品的技术优势和研发经验,更是以多用户为中心、以能力需求为导向,通过技术创新形成具有竞争力的产品。T901发动机的优势在于:结构更简单,单转子布局完全可以

满足美国陆军的换发要求;单转子结构设计更易于模块化,维修更加简化,前线快速修理性更好,可以最大程度地减小对后勤保障和维修的影响,这对未来美国陆军直升机远航保障非常必要;低风险集成,T901发动机与现役T700发动机安装尺寸相同,使得GE航空集团拥有的专有技术和已经建立起来的基础设施可以与美国陆军直升机无缝集成,因而直升机相应其他升级改造代价最小;T901发动机相比T700发动机,在高度1800m和35℃条件下,可使“黑鹰”直升机有效载荷提高150%(达2683kg),可多搭载10名士兵和93枚105mm炮弹,航程增加161%(达261km);阿帕奇直升机作战半径增加115%(达215km),留空时间增加133%(达139min)。

T901发动机优异的表现,使其不仅能用于美国陆军中型军用攻击和武装直升机,也将用于美国陆军FARA项目,满足其能力设置目标,提高侦察机的作战能力。美国军方认为,T901发动机尺寸非常适用于FARA,对于保证“黑鹰”和

阿帕奇直升机以及FARA飞行器之间发动机子系统的通用性,以及美国陆军战场后勤保障非常有利,同时也有利于削减相应的零备件库存和采购成本预算压力。T901发动机将成为FARA项目中两家竞争公司为满足甚至超过军方设定的能力目标和验证飞机优越性能的唯一可选动力。T901发动机在基于能力目标下进行研发,具有很强的“一发多机”的装机潜力,美国陆军在授予5份FARA初步设计合同时,指定采用GE航空集团的T901发动机为动力,并希望在FARA原型机竞标中用T901发动机验证FARA优越性能,贝尔公司和西科斯基公司的设计方案中均采用了1台T901发动机。T901发动机计划在2020年进行关键设计评审,这对FARA项目后续进行详细设计和风险评估至关重要,美国陆军正在加快FARA项目的进度,更希望T901发动机研制进度能跟上FARA项目。

结束语

从美国轻型侦察直升机及其动力的演变过程来看,有以下几点值得思考:一是基于能力的研发,指既要满足装备既定作战能力的特定需求,又要满足其标志性指标跨代大幅提升的需求;二是武器装备竞争性采办模式与基于能力的研发模式的融合有利于降低研制风险和加速技术和产品的成熟发展;三是标志性全新发动机的成功研制与新的飞行平台的研制相互促进,有利于发挥一发多机、一机多发的巨大潜力。

航空动力

(肖蔓,中国航发研研所,高级工程师,从事航空发动机科技情报工作)