

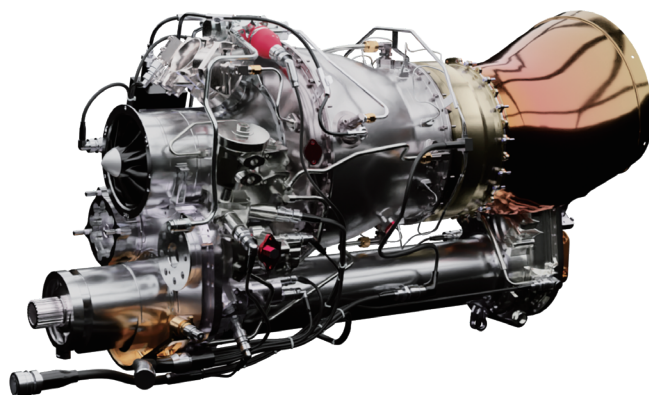
2023年直升机动力进展

Progress of Helicopter Engine in 2023

■ 张稳 / 中国航空发动机研究院

2023年，直升机配装的传统涡轴发动机在军民领域均有新的进展，几家行业巨擘的产品谱系愈发完善，领先优势不断扩大；直升机用混合电推进技术则方兴未艾，各型号均处于开发测试的早期阶段，距成熟应用尚有差距。

传统的直升机动力均是涡轴发动机形式，在国际市场上，几家老牌涡轴发动机公司积累深厚，不断推陈出新。近年来，由于环保法规和技术进步的双重推动，直升机动力也在向混合电推进转型。同时，部分公司正在尝试在传统涡轴发动机上使用可持续航空燃料（SAF），作为混合电推进技术成熟前的过渡手段。



阿赫耶2K发动机

传统动力

美国GE公司、法国赛峰集团和俄罗斯克里莫夫公司在直升机动力领域持续深耕，3家公司在2023年又取得了新的进展；印度斯坦航空有限公司（HAL）借由国际合作和基础设施建设，不断加强自身涡轴发动机研发能力；涡轴16发动机的量产交付，标志着我国也已加入了直升机动力的国际竞争。

赛峰集团和HAL共同开发新一代直升机发动机

2023年2月，赛峰集团和HAL签署了一项工作共享协议，共同开发用于印度未来13t级多用途直升机（IMRH）及其海军型甲板多用途直升机（DBMRH）的发动机。遵循前期双方签署协议的后续安排，2023

年7月，两家公司在印度成立合资公司，致力于直升机发动机的设计、开发、生产、销售和服务。

赛峰集团阿赫耶2K发动机配装新直升机首飞

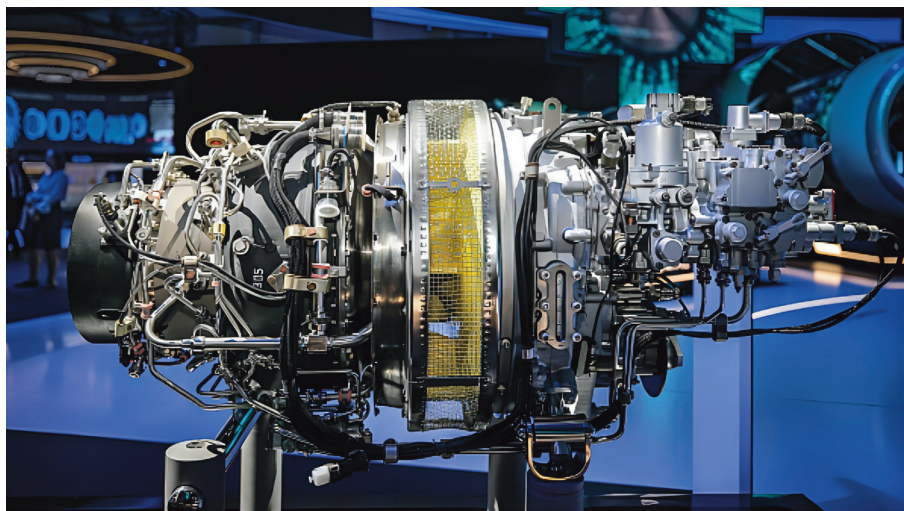
2023年3月，莱昂纳多公司的AW09轻型直升机配装阿赫耶（Arriel）2K发动机后在瑞士莫利斯实现首飞，达到重要里程碑，该机计划于2024年年底获得认证。首次飞行持续了20min，完成所有测试目标，包括低空悬停、原地转弯、速度为37km/h的直线和侧向飞行，以及多次着陆和起飞，后续将进行飞行包线扩展测试。赛峰集团已累计生产15000台阿赫耶系列发动机，为各种直升机提供动力，包括空客AStar系列、莱昂纳多AW109和西科斯基S-76等。

土耳其重型武装直升机配装乌克兰发动机首飞

2023年4月，土耳其航空航天工业公司研发的T929重型武装直升机原型机实现首飞，使土耳其成为继美国、俄罗斯、南非之后世界上第四个独立研制出重型武装直升机的国家。T929重型武装直升机总质量为11.5t，最大武器载荷为1.5t，最大飞行速度为315km/h，升限约6100m，首飞时配装2台乌克兰马达西奇TV3-117VMA-SBM1V-01T涡轴发动机，单台起飞功率为1838kW，巡航额定功率为1287kW。

俄罗斯持续推进涡轴发动机国产替代工作

2023年5月，克里莫夫公司对外披露，已完成VK-1600V发动机的地



VK-650V发动机

面试验，该发动机将于2024年安装在卡-62直升机上进一步试飞。VK-1600V发动机的起飞功率为1029kW，2.5min应急功率可达1287kW，与同类产品相比，质量减轻了10%，各个功率模式下的耗油率都有所降低。VK-1600V发动机未来还可用于无人机、轻型客机和地区性运输机等。

由于普惠加拿大公司已停止向俄罗斯提供安萨特（Ansat）轻型直升机配装的PW207K发动机，克里莫夫公司已开始生产VK-650V发动机，拟用于替换PW207K发动机。VK-650V发动机使用了数字化设计技术和3D打印的零部件，最大功率为478kW（PW207K发动机最大功率为463kW），使用寿命为3000h，并有进一步增加寿命的潜力。目前，该发动机已完成工程测试，所有主要技术参数都经过试验确认，并计划于2024年开展飞行试验，预计2025年获得型号认证并向喀山直升机厂批量交付。

GE公司T901发动机日趋成熟

2023年，GE公司新开发的T901发动机取得多项里程碑成果。该发

动机采用数字化设计技术，并使用陶瓷基复合材料（CMC）和3D打印零件等，相比于上一代T700发动机，提高了50%的输出功率（达到2237kW）和20%的设计寿命，降低了25%的油耗，从而实现了更低的全生命周期成本。未来，T901发动机有望全面替换UH-60“黑鹰”直升机和AH-64“阿帕奇”直升机现装的T700发动机。

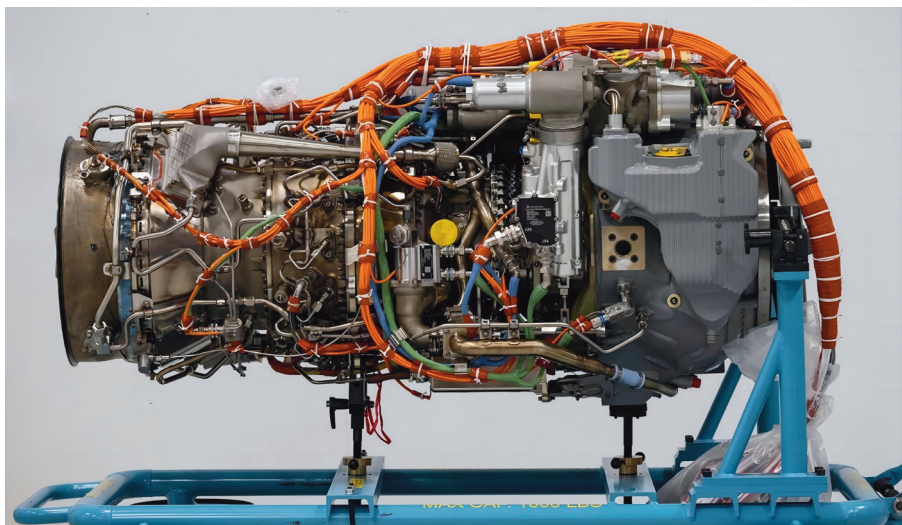
2023年8月，美国陆军授予西

科斯基公司一份800万美元的合同，用于资助该公司将T901发动机整合到UH-60“黑鹰”直升机机队中，开展集成所需的数据收集和测试。T901发动机具有与T700发动机相似的外廓尺寸和相同的安装接口，可实现原位换装。换装后，新发动机能够使UH-60“黑鹰”直升机的航程增加161%、载荷增加150%。

2023年10月，GE公司向FARA项目的竞标单位贝尔公司和西科斯基公司分别交付了1台T901发动机，以支持进行竞标直升机和发动机的集成测试，两家公司将于2024年开展地面测试和首飞。

HAL建成新型发动机研发设施

2023年12月，HAL航空发动机研究与开发中心（AERDC）举行了新型发动机设计和测试设施落成典礼。该设施占地面积超过10000m²，配有一个用于测试1200kW印度斯坦涡轮轴发动机（HTSE）试验台。此外，新设施还将用于测试“美洲豹”攻击机的空气发生器、轻型战斗机的燃气涡轮起动装置（GTSU）110 M2和



T901发动机



HAL发动机设计和测试设施

127E、印度多用途直升机和先进中型战斗机的辅助动力装置、安-32飞机的燃气涡轮发电机（GTEG）-60，并建立了对发动机部件和外场可更换单元（LRU）进行各种关键测试的装置。

首批量产涡轴16发动机交付用户

2023年12月，首批量产涡轴16发动机交付用户，标志着中国航发民用航空发动机产品迈出了产业化发展的关键一步，充分展示了我国在民用航空发动机这一高科技领域的研制实力和市场能力。

涡轴16发动机是我国最新一型严格按照适航规章研制取证的涡轴发动机，起飞功率不小于1240kW，质量不超过223.5kg，耗油率（最大连续功率状态）不大于0.294kg/（kW·h），实用升限6000m，可靠性高、翻修间隔时间长，整体性能达到国际先进水平。涡轴16发动机于2019年10月取得型号合格证（TC），2021年3月取得生产许可证（PC），可配装AC352等7t级双发直升机，广泛应用于搜索救援、海油作业、人员运输、医疗救护和商务包机等领域。

混合电推进

基于现有涡轴发动机开发混合电推进系统，是直升机实现混合电推进的主要技术路径之一。2023年，美国、法国、俄罗斯等老牌直升机动力强国均在这一技术路线上有新的进展，将验证混合电推进在直升机航程和高速飞行方面的技术优势。

美国SOCOM将与DARPA联合推进混合电推进直升机研发

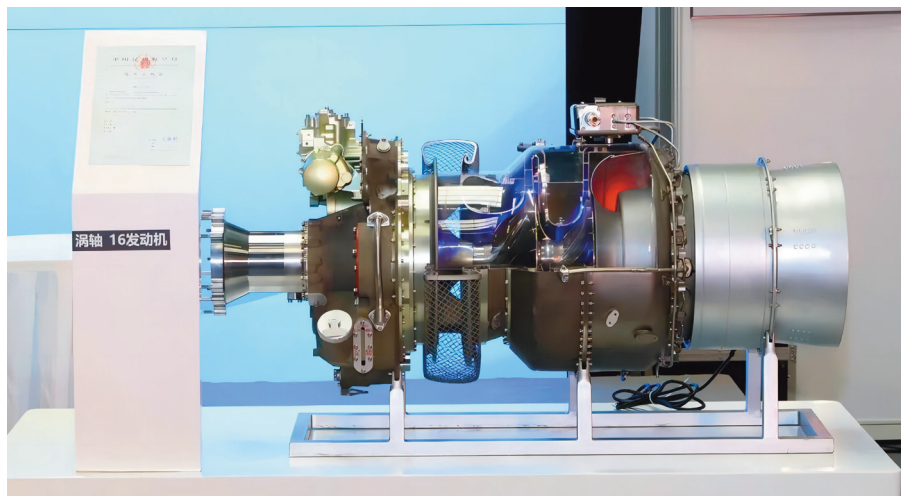
2023年4月，美国特种作战司令部（SOCOM）宣布，SOCOM将与

美国国防预先研究计划局（DARPA）合作，共同推进混合电推进直升机的研发。SOCOM认为，目前全电或以电动为主的直升机方案，均不能满足特种作战直升机的长时间悬停等需求，因此在现有基础上寻求与DARPA合作推动混合电推进直升机的研发。SOCOM的初步研究表明，混合电推进相比于传统动力，可实现直升机性能的跨越式提升，将飞行速度提高25%~100%或者将航程增加25%~75%。

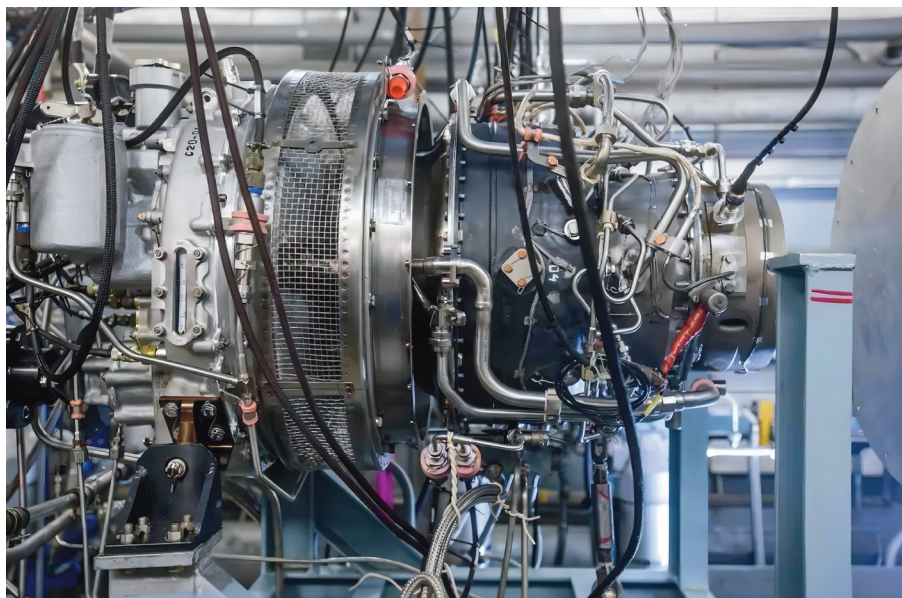
赛峰集团开展直升机混合电推进系统测试

2023年6月，赛峰集团对其“节能模式”（Eco Mode）混合电推进系统进行了地面测试，该系统为双发直升机“竞速者”（Racer）而设计。在巡航状态下，1台发动机处于待机状态，另1台发动机以更节能的功率状态运行，可减少约15%的燃料消耗，并增加直升机的航程。在着陆或紧急情况下，智能辅助电动机会迅速重新启动待机的发动机，自动恢复到双发全功率状态。

“节能模式”混合电推进系统由



涡轴16发动机



UEC开发的混合电推进系统验证机

法国民航局（DGAC）资助，使用了赛峰集团的阿内托-1A（Aneto-1A）发动机和电动快速重起系统，该系统将发动机的电子控制系统与一个高功率密度的电动机结合起来，机械连接到发动机的高压转子上。阿内托-1A发动机的最大功率可达1838kW，2台发动机可支持“竞速者”直升机保持最高400km/h的远程巡航速度。

空客公司推出新型飞行试验平台测试混合电推进系统

2023年9月，空客公司推出了其最新的技术验证机“先锋实验室”（Pioneer Lab），用来测试减少直升机排放、提高自主性以及集成生物基材料的相关技术。“先锋实验室”是一型基于H145直升机开发的双发技术验证机，通过使用混合电推进系统和直升机空气动力学改装，其目标是比改装前的H145直升机减少30%的油耗，为快速测试技术提供敏捷和高效的测试平台。

UEC将开始测试基于涡轴发动机

的混合电推进系统

2023年8月，俄罗斯联合发动机制造集团（UEC）开始测试基于VK-650V涡轴发动机的混合电推进系统演示验证机。该系统可用于无人机、多用途直升机和轻型固定翼飞机，整机功率为500kW，由1台VK-650V涡轴发动机、2台电动机以及自动控制系统（ACS）等组成。

使用SAF

由于整体的排放规模较小，直升机动力适配SAF的脚步落后于固定翼客机用的涡扇发动机，更多是结合成熟的SAF技术，进行适配测试。

NH90直升机使用100% SAF试飞

2023年2月，法国国防部武器装备总署（DGA）首次试飞了1架使用SAF的NH90直升机。该直升机采用双发布局，配装2台赛峰集团RTM322涡轴发动机，其中1台发动机使用了100% SAF，此次飞行没有对发动机进行任何修改。试飞由赛峰集团、空客公司和道达尔能源公

司合作完成，道达尔能源公司使用加氢酯和脂肪酸（HEFA）工艺，基于回收的食用油生产SAF，碳足迹是化石燃料的四分之一，符合欧盟对SAF 65%的减排要求。

贝尔505直升机使用100% SAF试飞

2023年2月，贝尔公司与赛峰集团、吉凯恩（GKN）公司、耐斯特（Neste）公司以及Virent公司共同合作，完成了全球首架单发直升机（贝尔505）使用100%SAF飞行的试验。此次飞行试验中所使用的SAF是由耐斯特公司从废弃食用油和其他生物基原料中提炼出来的，包含了由可再生植物糖制成的芳香烃成分，将该成分添加至纯SAF中，使之无需与传统化石燃料混合使用。

结束语

传统涡轴发动机还在向着更高功率、更低油耗、更长寿命发展，说明这一动力形式还具有可挖掘的潜力，需要持久投入、接续研发。GE公司借助T901发动机的不断成熟，再一次为行业树立了新的标杆，进一步确立了其在传统涡轴发动机领域的技术领先优势。新兴混合电推进技术即使不考虑环保压力，在油耗、分布式推进布局等方面也有着更优秀的表现，很可能是直升机动力未来的主流形式，SOCOM和DARPA试图将这一动力形式率先应用于军事领域，而欧洲政府机构和制造商则更倾向于先在民用飞机上使用，显示了美欧之间的不同思路。

航空动力

（张稳，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）