

T901赢得美国陆军主役直升机换发项目

GE's T901 Wins U.S. Army's Improved Turbine Engine Program

■ 刘博维 / 中国航发研究院

2019年2月，美国国防部宣布GE公司的T901涡轴发动机赢得陆军“改进涡轮发动机项目”(ITEP)竞标，用于替换UH-60“黑鹰”武装直升机和AH-64“阿帕奇”攻击直升机所用的GE公司T700涡轴发动机。凭借此型发动机，GE公司或将帮助美国陆军进入旋翼航空的新时代。

项目背景

UH-60“黑鹰”武装直升机和AH-64“阿帕奇”攻击直升机是美国陆军的主力装备。随着服役年限的增加，越来越多的新装甲、弹药和航空电子设备被添加到机体中，这些直升机的质量在不断增加，虽然提供了更高的生存能力和性能，但却牺牲了有效载荷和机动性。为了尽快提升这两种直升机的作战能力，美国陆军航空应用技术理事会从2007年开始发起“先进经济可承受涡轮发动机”(AATE)计划(2007—2015年)和“改进涡轮发动机项目”(ITEP)(2012—2024年)，以尽快实现直升机换发，并为“未来垂直起降飞行器”(FVL)动力系统提供技术储备。ITEP的目标是提供与T700-701D尺寸相同的替代品，功率输出要从T700的1471kW提高50%至2240kW，耗油率降低25%，功重比提高65%，设计寿命提高20%，生产和维修成本均降低35%，且在更高温度、更高海拔下保持高水平性能。预计，ITEP的低速率初始生产发动机将在2022—2023年下线，2027年达到全速生产能力，最终的

订单量可能会超过6200台。

HPW3000和GE3000的竞争

在AATE计划中，并行开展了两个演示验证发动机项目，一个是GE公司的GE3000，另一个是霍尼韦尔与普惠合资的ATEC公司的HPW3000。GE公司和ATEC公司须在预先研究阶段为未来的ITEP发动机进行技术验证，由美国陆军航空应用技术理事会对两种验证机的初步设计、详细设计和关键技术进行评审。ITEP则延续了这种竞争模式——在美国陆军采购策略的指引下，在两种不同技术特征和结构布局的候选发动机T901(前身为GE3000验证机)和T900(前身为HPW3000验证机)之间展开竞争，通过全面评估，最终选择一型发动机进入工程和制造发展(EMD)阶段。这种竞争方式促使参标公司竭力实现发动机技术和成本的优化，以满足美国陆军对新型发动机的苛刻要求，同时驱动其自身不断提升管理和技术水平，保持持续的技术创新动力。

2019年2月，GE公司获得美国

陆军授予的一份总金额为5.17亿美元的EMD阶段合同。在前期的计划实施中，美军分别拨款给GE公司1.02亿美元和ATEC公司1.54亿美元用于制造68台发动机，通过这些发动机的对比测试，最终GE公司T901-GE-900发动机综合表现更好；ATEC公司虽然没有得到最后的合同，却获得资金进行了大量的先进技术研发和前沿工程经验积累。

GE公司按照EMD阶段合同规定，被要求在2024年8月1日前完成T901涡轴发动机的研制工作，并提供小批量样机。在获得合同的同时，美国陆军已从2019财年的研究、发展、试验与鉴定(RDT&E)经费中拨付了1.3亿美元用于T901的研制工作。GE公司航空军事业务总裁兼首席执行官托尼·马西斯表示：“我们已经投入资源和基础设施为研制工作提供保障，将立即开展研制工作，为军方提供达到要求的T901。”

ATEC公司则向美国政府问责署(GAO)提出申诉请求，认为其方案技术风险低，且成本低于美陆军的预期。ATEC公司表示其双轴设计与GE的单轴设计方案相比，功率提升

10%，耗油率降低3% ~ 4%。

T901发动机设计特点

T901发动机计划执行董事罗恩·哈特(Ron Hutter)表示，T901在满足ITEP的性能要求的同时，保留了T700完整的模块化设计和更高可靠性的单转子结构，除了先进的设计和硬件外，T901还具有最新的模块化诊断和预测工具，能够更加灵活地在最低全生命周期成本下提高美国陆军的战备水平。上述特点使得UH-60“黑鹰”和AH-64“阿帕奇”直升机能够在海拔更高、更加炎热的环境中使用。

单轴设计

相比T900发动机采用的双轴设计，T901发动机的单轴设计结构更加简单，成本较低、质量较轻、可靠性较高、维修性好，但缺点是燃烧效率较低，因此耗油率相对较高。

作为T901发动机设计的关键之一，单轴结构意味着压气机和燃气发生器中的所有旋转部件在一个轴上，并以相同的速度旋转，具有灵活的模块化结构，拆装简单。相比之下，双轴结构是将压气机分成两个独立旋转的高、低压转子，并分别由独立的高、低压涡轮驱动。由于多了一个轴，所以需要更多的零件，这些都增加了发动机的质量和复杂性，使得拆卸难度更大，维修成本更高；质量的增加会使直升机性能降低，有效载荷减少，同时将这种发动机整合到飞机中也会带来更大的挑战。

单元体设计

T901发动机的单轴设计可实现完全模块化、部件更少、设计更简单，从而使T901更可靠、更易于维修、维修成本更低。完全单元体设

表1 GE3000和HPW3000发动机技术研究进展

时间	T901 (GE3000)	T900 (HPW3000)
2011	首台验证机试验	
2012	—	完成了燃气发生器(高、低压系统)试验
2013	整机试验	首台发动机30h持久试验 第2台发动机性能和吞沙试验
2014	第2台GE3000发动机性能评估、持久性和吞沙等试验	第2台发动机调试
2015	—	—
2016	GE公司获得技术成熟与风险降低(TMRR)阶段的合同(1.02亿美元)	获得TMRR阶段合同(1.54亿美元) 完成两台技术验证机的性能演示、持久调试和吞沙试验
2017	全尺寸原型机匹配性试验	
2018	通过初步设计评审	
2019	获得工程和制造发展阶段合同(5.17亿美元)	
预计2024	提供小批量样机	

计通过对发动机单元体的逐步改进，以较低的成本提高了发动机性能。

战场上的突发事件时有发生，因此快速恢复战斗能力至关重要。T901的单元体设计使维修人员能够在现场拆解，清洗或修理发动机并重新组装发动机，所有这些都只需质量较轻的备用单元体便可完成。这意味着T901可以减少对作战供应链的依赖，以及减少敌人对后勤保障实施攻击的机会。

增材制造

GE公司凭借在先进涡桨发动机(ATP)、LEAP和GE9X发动机上积累的增材制造技术经验，在T901发动机上也采用了大量的增材制造零

部件。这些增材制造零部件质量更轻、性能更高、构型更复杂且更加耐用。例如，将T901上装配在一起的51个零件打印成一个部件，质量减轻了20%。

陶瓷基复合材料(CMC)组件

T901发动机中采用陶瓷基复合材料(CMC)部件，以提高性能并减轻质量。这些部件能够降低热端部件对冷却空气的需求，从而以不同于增材制造部件的方式提高效率。增材制造组件和陶瓷基复合材料等创新技术将有助于T901达到或超过陆军的“苛刻的性能要求”。

先进冷却技术

先进冷却技术有利于实现更低

的金属温度，降低排放，减少T901发动机维持相同发动机温度时所需的冷却空气量，从而输出更大功率并显著提高燃油效率，以提高T901的性能。

耐沙技术

UH-60和AH-64直升机可能在各种恶劣的战场条件下飞行，比如沙漠地区。T901发动机采用新型进口粒子分离器可减少沙石摄入量 and 总压损失，减少涡轮机械部件的磨损，并显著提高了发动机在翼使用时间。T901运用的其他耐沙技术还包括：改进防腐蚀技术、采用坚固耐用的压气机和流通能力较强的冷却孔尺寸。

换发前后性能对比

T901发动机相比传统涡轴发动机具有以下几点优势：更长的航程以提供更多直升机战术的选择；更大的有效载荷能够迅速进行大规模战斗；更长的留空时间；增强机动性以提高生存能力；改进低空性能，扩大飞行员战术选择空间和安全边

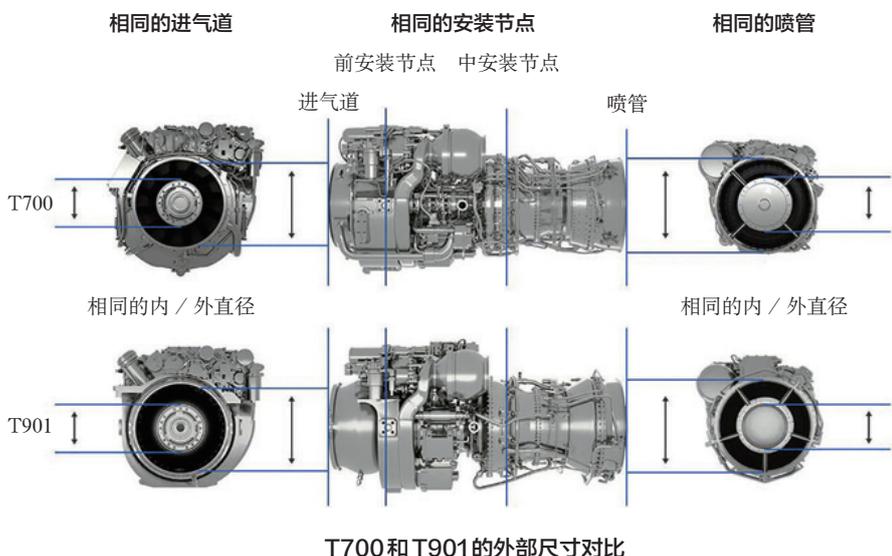


UH-60和AH-64采用T700和T901的性能对比 (高度 2743.2m、温度 35°C)

际。T901的大规模运用，会为美军更远期的发动机提供扎实的基础。

安装T901发动机后，UH-60直升机载重量提高150%、航程增

加161%；AH-64的留空时间增加133%、作战半径增加115%。最终，UH-60直升机可多搭载10名士兵和93枚105mm炮弹，而AH-64在作战空域的滞留时间可增加79min。



结束语

过去40年，GE公司通过T700发动机为UH-60和AH-64提供动力，积累了超过1亿小时的飞行经验。通过不断的升级和技术进步，T901发动机符合所有ITEP要求，零件更少，设计更简单，技术更可靠。凭借此款发动机，GE公司或将帮助美国陆军进入旋翼航空的新时代。 **航空动力**

(刘博维，中国航发研究院，工程师，从事航空发动机科技情报工作)