

# 俄罗斯涡轴发动机的创新发展

## Innovative Development of Russian Turboshaft Engines

■ 刘翠玉 / 中国航发研究院

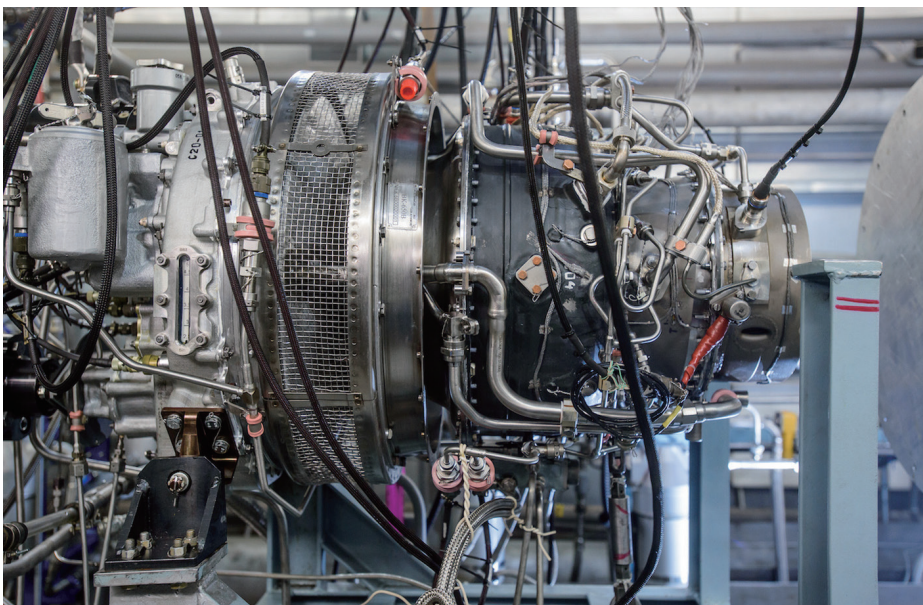
新冠肺炎疫情期间，俄罗斯联合发动机公司（UEC）稳步推进新型号研发和已有型号的生产，并对现有发动机进行升级改造，计划将涡轴发动机销售额在公司总销量的占比从2019—2020年的10%~12%，提高到2035年的18%~20%，主要的增长点是在市场推出VK-650V和VK-1600V，并使俄罗斯涡轴发动机的整个型号系列适应其传统销售市场。

苏联解体前，TV2-117和TV3-117涡轴发动机及其改型共生产约5万台，创造了该级别发动机销量的绝对纪录。苏联解体后，俄罗斯和乌克兰主要为卡-50和米-28战斗直升机研制TV3-117VM和TV3-117VMA发动机，由克里莫夫公司负责设计，由乌克兰扎波罗热马达西奇公司负责生产。2014年，俄乌关系紧张，国际政治形势复杂，新机研制进展停滞，促使俄罗斯致力于实现进口替代。近年来，俄罗斯的涡轴发动机项目主要包括VK-2500P、VK-2500PS-03、VK-2500PS-02、TV7-117V、VK-650V、VK-1600V和VK-2500等，这些发动机可以满足轻型和中型直升机动力的国产化需求。

### 代表机型及其主要特点

#### VK-650V 轻型直升机发动机

俄罗斯联合发动机公司（UEC）在轻型直升机动力装置中最重要的创新是VK-650V发动机，该机型于2019年开始研制，2020年9月首次亮相，主要配装安萨特（Ansats）、卡-226T、VRT-500等轻型直升机，用于替换这些机型配备的国外发动机。VK-650V发动机的起飞功率为478kW，采用模块化设计、全权限



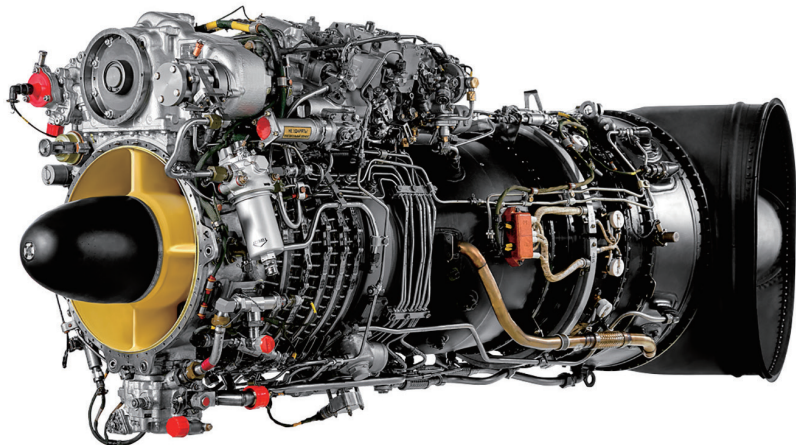
VK-650V发动机

数字式电子控制（FADEC）系统。与国外同类相比，虽然功率、耗油率基本相当，但成本更低，质量更轻，而且保持了俄制发动机在极端气象条件下的安全性和可靠性。UEC还计划利用VK-650V核心机为无人机和轻型飞机研制367~514kW的发动机。

VK-650V发动机的研制依靠广泛的行业合作，除克里莫夫公司外，全俄航空材料研究院（VIAM）、车尔尼雪夫机械制造企业和“礼炮”科研生产联合体也参与其中。首台

演示验证机中12%（质量）的部件采用了增材制造技术，涡轮导向器、涡轮机匣零件、燃烧室旋流器均由VIAM研制的镍基和钛基粉末合金制成。2020年12月，乌法发动机生产联合体为VK-650V发动机制造了自由涡轮转子、燃烧室和涡轮支承等组件。2021年年初，VK-650V发动机首次点火成功，目前演示验证机的第二阶段测试已经开始，计划2023年取得型号合格证，2024年开始批量生产。

VK-650V发动机的主要创新点



VK-2500PS发动机

包括：新的FADEC系统；20%的零件使用增材制造技术以减轻质量；采用移动式服务，主体是一个长度约12m的集装箱，可容纳各类生产设施且便于运输。

VK-650V发动机预计年产160台，占俄罗斯国内市场需求的30%。目前，俄罗斯直升机控股公司表示有意签署首批供应合同，发动机将用于改型直升机的飞行测试，以实现换发目标。

### VK-2500中型直升机发动机

由于俄乌关系日趋紧张，俄罗斯未雨绸缪，早在1999—2001年就开始了米-28直升机的TV3-117VMA发动机的国产化工作，替代型号为VK-2500，已于2012年完成测试，2015年批量生产。VK-2500的批产，标志着俄罗斯国产涡轴发动机实现全自主生产。该型发动机在俄罗斯及国际上非常受欢迎，5年内生产了600多台，还可配装米-24/35、卡-52、卡-27/29/31和卡-32。与TV3-117VMA发动机相比，VK-2500发动机更先进，燃油效率高，功率提高了15%~20%，采用了新型控制系统BARK-78，以及SHK-78-1

工作时间计数器，最高实用升限增加了30%，爬升率增加了50%。与美国T700发动机相比，该发动机可靠性高且运行成本低。

VK-2500发动机重要创新是自动控制系统的研制。TV7-117和VK-2500的所有改型都将采用克里莫夫公司开发的BARK-65/6V自动控制系统。目前已开始对BARK-6V进行模块化升级，且只采用俄罗斯生产的组件，这也将成为一个突破点。

改进型VK-2500PS-03发动机于2016年完成认证，2017年投入

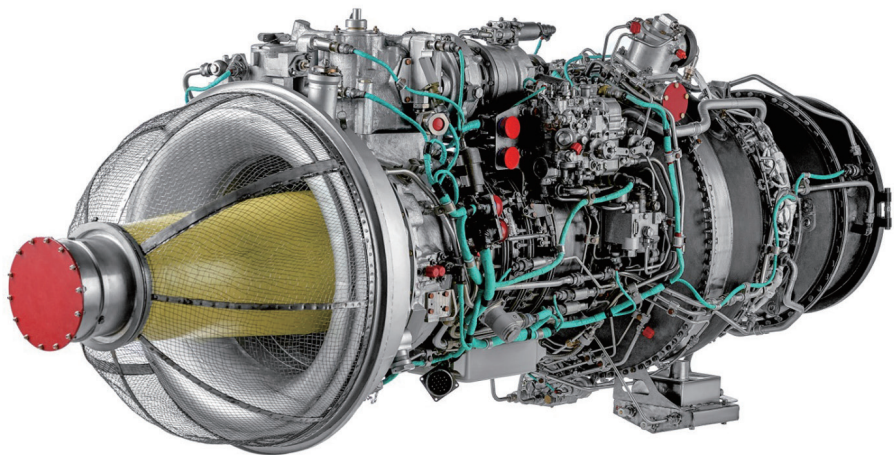
批产，配装米-171A2民用直升机；该发动机的军用型VK-2500P，配装升级后的米-28NM，已于2020年完成国家测试，可不需改进直接用于所有“米”“卡”系列军用直升机。克里莫夫公司将于2022年年底完成VK-2500PS-02发动机的设计，用于改进后的卡-32，新发动机将提高直升机在外挂载荷情况下执行木材集运、灭火或其他任务的能力。

### TV7-117V中型直升机发动机

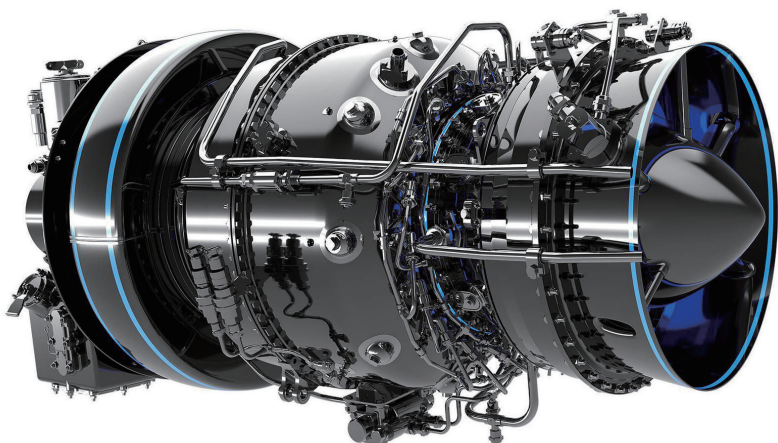
TV7-117V发动机在2015年获得型号合格证，2017—2021年共交付17台，配装米-38。同时计划安装在“卡”系列直升机上，2030年前还获得了另外255台发动机订单。TV7-117V已在全球得以应用。目前，UEC正在与国外合作商就TV7-117V适配国外机型进行谈判。

### VK-1600V中型直升机发动机

VK-1600V发动机起飞功率为1029kW，专为卡-62多用途和特种直升机设计，并计划在其基础上为轻型客机和支线运输机研制VK-1600S涡桨发动机。VK-1600V发



TV7-117V发动机



VK-1600V发动机

发动机已通过设计审查，首台验证机已完成组装并在2021年莫斯科航展上展出，将于年内进行试验，预计2023年取证，2024年批产。

VK-1600V发动机的验证机中，约70%铸件采用增材制造技术，包括涡轮导向器、第一支承壳体、涡轮支承壳体及其他组件。VK-1600V发动机的设计首次全部实现电子化。研发过程中使用产品数据管理(PDM)系统，采用了克里莫夫公司研发的BARK-15V控制系统。

### 重型直升机和无人机发动机

UEC还致力于为米-26重型直升机研制国产动力，目前，该直升机配备了两台乌克兰D-136发动机，替代型号为PD-12V，该机型基于俄罗斯新型PD-14发动机核心机研制，采用了新技术和先进材料。发动机采用双轴设计，包含8级压气机、2级涡轮和3级自由涡轮。发动机质量为1150kg，尽管比D-136发动机多出近100kg，但其推力可以提升至10290kW，对周围环境适应性更强，在高海拔和炎热气象条件下也能保持性能。PD-12V发动机计划采用FADEC系统，飞发一体化得以改善，

耗油率可下降9%。此外，新的中俄AHL重型直升机也可以配备PD-12V发动机。

近年来，随着无人机的快速发展，其发动机的研制也获得了极大关注。UEC的混合电推进验证机的研制，具有推广应用至轻型无人机的潜力，其中包括无人直升机。关于混合电推进技术的应用，UEC正与俄罗斯直升机集团、乌拉尔民用航空厂、喀琅施塔得集团等进行谈判。



克里莫夫公司新生产基地

## 涡轴发动机研制特点

在涡轴发动机研制过程中，UEC注重基础设施建设和行业合作，注重提升设计、制造工艺水平，以及新材料和新技术的应用，不断取得新突破。

### 加强基础设施建设，全面保障生产

为了保障各项项目的实施，实现俄罗斯涡轴发动机的全生命周期自主研制，在国家大力支持下，克里莫夫公司投资建设50000m<sup>2</sup>的设计和生产基地，并于2015年全面完成生产、行政和设计局的搬迁。历时2年完成了试车台改造，新建试车台16个，并彻底更换了工程网络。目前，公司共有27个试车台，试验能力大大提升，可在2021年将TV3-117和VK-2500系列发动机的产量增加30%。

UEC还尝试通过建立专业化中心来改造现有的生产模式。2020年，在乌法发动机科研生产联合体组建了一个涡轴发动机部件生产中心，

旨在为批产型发动机生产配套件。中心包括4个生产基地，配备数百台现代化数字设备。

俄罗斯国家技术集团于2018年成立增材制造中心，为俄罗斯多个大型项目生产零部件，如PD-14、PD-35、VK-650V、VK-1600V发动机等。该中心于2021年10月7日成为首家获得3D打印批产航空产品许可证的俄罗斯企业，可批产民用飞机、直升机的发动机部件。

### 注重科技创新研究，创建新项目

涡轴发动机自主研制方面的一个重要创新点是自动控制系统，确保在紧急状态下增加发动机输出功率，提高可靠性和降低燃油消耗。20世纪90年代末，克里莫夫公司创立了发动机数字化自动监测与控制系统研发部门，目前可为所有先进发动机提供BARK系列控制系统的研发、制造和维护服务。自动控制系统方面，未来将应用人工智能，有助于预测和防止异常情况的

发生。

除传统的动力装置外，UEC还着眼于先进创新项目。2020年8月，克里莫夫公司启动了混合电推进系统演示创新项目，包括研制混合电推进系统各部件以及集成，将有助于在试验设计工作框架中研制一系列市场所需的动力装置，用于多用途直升机、无人机和支线飞机。UEC也推出了新一代涡轴发动机概念，采用空气轴承，减少液压机构，极大优化产品结构，大幅减少零部件数量。

### 应用新材料与工艺，提升制造能力

基于PD-14涡扇发动机研制经验，UEC开发的一系列新型复合材料和制造工艺，能够广泛应用于其他产品。目前增材制造技术已广泛应用于涡轴发动机生产，尤其是VK-650V的验证机和原型机。

### 积极转变生产模式，寻求内外合作

早在2005年，克里莫夫公司就

摒弃了传统的企业全包全揽式生产模式，转而采取了多方合作和外包协作，提高了生产效率和全球竞争力。目前，克里莫夫公司主要侧重于国内合作，得益于数字化转型，与合作伙伴的互动更有成效。联合型公司是非常有利于合作的一种模式，俄罗斯国家技术集团在全国60个地区共有800多个科研和生产组织，许多相关企业都建有共用的生产加工和试验数据库中心，非常有助于开展合作。

### 结束语

俄罗斯涡轴发动机的发展得益于诸多内外驱动因素。首先，多年的科技储备和研制经验是促进发展的内部基础，各型新产品几乎都是原有产品的改型，可实现材料、技术和工艺等的通用。其次，进口替代是重要的政策导向，尽管是不得已而为之，但事关国防安全和国民经济，从长远看是非常有利的。第三，国家的财政支持是各项目的重要保障，国家和集团公司对产品研发投入了巨大资源，建设新生产基地和专业化中心、更新设备，有效地提高了研发和生产能力。第四，西方制裁和迫切的市场需求是促进发展的外部刺激因素。目前，俄罗斯直升机面临急迫的换发任务，多型涡轴发动机被寄予厚望。俄罗斯航空发动机工业正在逐步提升竞争力，各在研项目也成为凝聚行业力量实现进一步突破的重要推手。愈发严峻的国际形势表明，只有具备航空发动机全生命周期的独立自主研发能力，才能摆脱国外的掣肘。

航空动力

(刘翠玉，中国航发研究院，工程师，主要从事航空发动机情报研究)



俄罗斯国家技术集团增材制造中心