

# 中国无人机动力装置现状浅析

## The Status of the Power Plants for UAVs in China

■ 王士奇/中国航发研究院

目前，无人系统在各种军事和经济活动中扮演的角色已越来越不可或缺，发展与之相匹配的动力装置的重要性也日益凸显。

在军用领域，以无人机为代表的无人作战系统已经深刻影响了现代战争的形式，打开了新一轮军事技术革命的大门，成为各军事科技强国争夺的战略制高点；在民用领域，无人机已经渗透到不同行业的众多应用场景中，处在大规模行业应用和产业化的前夜，或将成为航空工业领域最具活力的增长领域。作为无人机的“心脏”，动力装置的选择在很大程度上决定了无人机的整体性能。

### 无人机动力的分类

无人机市场巨大、产品种类丰富，且有大量新兴市场待开发，因而对动力的需求也是极其多样的。无人机动机按照类型，可分为汽油活塞发动机、重油活塞发动机、涡扇发动机、涡喷发动机、涡轴发动机、涡桨发动机等；按照推力/功率范围，可分为小推力/功率发动机（<10 kN /500 kW）、中等推力/功率发动机（10~50 kN /500~1000 kW）、大推力/功率发动机（>50 kN /1000 kW）。

#### 活塞发动机

目前国内大多数的无人机都是

采用活塞发动机。活塞发动机是无人机最早、最广泛使用的动力装置，技术较为成熟。鉴于其良好的经济性和可靠性，一直在中低速无人机和长航时无人机领域占据主导地位。根据所应用的机型不同，活塞发动机的功率小至几千瓦，大至300kW以上，其适用速度一般不超过300 km/h，升限一般不超过8000 m。如美军的RQ-1“捕食者”无人机采用的是罗塔克斯（Rotax）914涡轮增压汽油活塞发动机，功率为78 kW。

相较汽油活塞发动机，重油活塞发动机具有更高的燃油效率和燃料的安全性、易获得性，在长航时无人机以及舰载无人机应用领域，正在得到越来越多的关注和越来越强烈的需求。

#### 涡轴/涡桨发动机

相比活塞发动机，同样以功率形式输出动力的涡轴发动机具有功重比大、结构紧凑、振动小、高原性能好、燃料适用性好、便于维修等优点，涡轴发动机因而代替活塞发动机成为直升机的主要动力装置。目前世界上所有最大起飞重量在1.5t

以上的直升机都采用涡轴发动机作为其主动力装置，最大起飞重量在0.7~1.5t之间的直升机有一半以上是采用涡轴发动机，而最大起飞重量在0.7t以下的直升机也会根据不同的应用场景使用涡轴发动机。例如，美军的RQ-8B“火力侦察兵”无人直升机（最大起飞重量1.4t）采用了罗罗公司的RR-250-C20W涡轴发动机，最大功率为313 kW；加拿大CL327无人直升机（最大起飞重量0.35t）采用了威廉姆斯WTS-125涡轴发动机，最大功率为92 kW。

而涡桨发动机同样具备上述优点，使得其在中大型固定翼无人机中具有广泛应用，如“捕食者”B无人机选用霍尼韦尔公司700 kW级的TPE331-10T发动机。

#### 涡喷发动机

涡喷发动机具有结构紧凑、质量轻、尺寸小、推重比大、响应快和相比涡扇发动机成本低等显著优点，能使飞行器实现高速飞行。高空、高速无人机一般会将涡喷发动机作为首选动力。例如，美军BQM-34A“火蜂”无人机采用特里达因公司的J69-T-29A涡喷发动机，推力

为7.6 kN。

虽然由于涡喷发动机的耗油率较高，在2 kN推力以上和长航程的应用场景下已经被涡扇发动机所替代，但是小推力涡喷发动机在靶机、靶弹等特殊的应用领域仍然具有独特的地位。

### 涡扇发动机

涡扇发动机具有耗油率低、寿命长、易于实现系列化等优点，其质量和推力等级能与无人机实现较好匹配，非常适合无人机对动力的需求。目前，涡扇发动机主要作为高空长航时无人机和亚声速远程巡航导弹的动力。例如，美国的X-47B舰载无人战斗机配备普惠公司F100-220U涡扇发动机，最大推力为64.9 kN；RQ-4“全球鹰”无人机配备罗罗公司的AE3007H涡扇发动机，最大推力为32 kN；RQ-3“暗星”无人机装备威廉姆斯公司的FJ-44-1A涡扇发动机，最大推力为8.6 kN；美国“战斧”式巡航导弹装备威廉姆斯公司的F107涡扇发动机，推力为2.6 kN。可以看出，配备涡扇发动机的无人机基本上都代表了世界无人机的最高水平，其

升限一般在10000~20000 m，最大飞行马赫数(Ma)可以达到0.85。

### 转子发动机

转子发动机又称万克尔发动机(Wankel Engine)，是一种无活塞回旋式发动机。转子发动机的基本结构是在一个椭圆形的空间中，置入一个勒洛三角形的转子，转子的三个面将椭圆形空间划分为三个独立的燃烧室。由于转子为偏心运转，因此这些被分隔的独立燃烧室在运转过程中容积会不断地改变，此型发动机就是利用密闭空间变化的特质来达成四行程运转所需要的进气、压缩、点火与排气过程。由于转子发动机的特殊结构特点，使得其具有结构简单、功重比高、振动与噪声小等优点，特别适合作为小型无人机的动力装置。比如Austro发动机公司研发的AE50R(功率41 kW)转子发动机已于2011年获得欧洲航空安全局(EASA)的适航认证，并应用于西贝尔公司S-100无人直升机。

### 电动机

微型无人机(质量<100 kg)一

般自带锂电池，并采用电动机带动旋翼或螺旋桨作为动力装置。其结构简单，成本低廉，功率大小可随意选择。如大疆公司的消费级无人机均采用电动机作为其动力装置。

但是由于目前电池自身的能量密度太低，采用电池带动电动机的动力形式无法保证无人机的长时间飞行(>1h)，极大地限制了它的应用场景。

### 其他新概念发动机

由于没有人类生命保障的限制，无人机的应用范围大大增加，特别是在超过载、超长航时、超高速等非传统有人机应用领域将大放异彩。因此，各国在继续发展传统航空发动机技术的同时，都在积极探索基于未来无人机应用的新概念发动机架构，如针对未来高超声速飞行器、空天飞机等应用场景发展出的超燃冲压发动机、脉冲爆震发动机、涡轮基组合发动机、火箭基组合发动机等；针对未来全电和多电机研发的混合动力系统和核动力发动机等。例如，赛峰公司已经于2017年发布了航空电推进技术路



Austro发动机公司研发的 AE50R转子发动机



S-100无人直升机

线图，并于2018年进行了分布式混合电推进系统地面试验。

## 中国无人机动力的现状

长期以来，我国发动机型号的研制都是紧跟国防建设的战略需求，将绝大部分资源都投入到了主力战机的配套发动机研制中去，现有的大部分发动机都是根据有人驾驶飞机配套研发的。同时，由于无人机在近年来发展迅猛，其对动力的需求与有人驾驶飞机有一定区别，这就造成了目前我国无人机动力的发展远远滞后于无人机系统的发展，并开始制约无人机的进一步发展。

### 中小型无人机无中国“心”可用

活塞动机主要用于中小型中低空低速无人机，由于国内航空发动机行业长期处于落后状态，性能远不如国外同类产品，还有很多功率级别的型号处于空白状态。国内无人机厂商不得不购买国外厂家的成熟的产品，使得国外的活塞发动机厂商，如奥地利罗塔克斯（Rotax）公司、美国莱康明（Lycoming）公司等，基本垄断了国内的航空活塞

发动机市场。而对于燃油性能和高空性能更加优异的重油活塞发动机，国外厂家甚至直接明令禁止国内用作无人机动力。

由于燃气涡轮发动机的自身优势，其在中小型无人机动力中也占据重要地位。但目前国内市场在长寿命小型涡轮燃气发动机领域，如300kW以下级别的小型涡轴/涡桨发动机、2~10kN推力的小型涡扇发动机等，还处于空白状态，导致很多正在研制的无人机系统，如1t级无人直升机、1t级高速固定翼无人机等无可靠的国产动力。

### 高空长航时无人机动力空白

在10000米以上高空条件下，活塞发动机因空气稀薄性能衰减严重，即使是采用涡轮增压也无法满足使用条件，螺旋桨的推进效率也同样会大大降低，因此必须使用高增压比高性能的涡轮燃气发动机。另外，相比涡扇发动机，涡喷发动机的耗油率过高。所以，针对高空长航时无人机，涡扇发动机是最佳动力选择。

由于我国目前还没有一款满足条件的涡扇发动机可用，这就造成

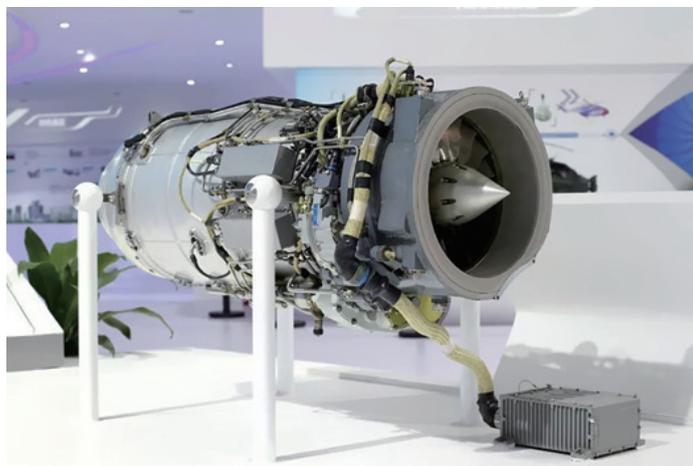
我国成熟的高性能无人机面临选发困难。虽然已有多家单位正在研发高空长航时无人机，但其动力装置的选择是影响研发进度的最大变数。

### 中国航发在无人机动力领域有待进一步发力

中国航发作为中国航空发动机产业的国家队和领头羊，始终聚焦国家的战略需求，在2018年中国航展上参展（包括单独展示和随飞机展示）的型号多达13种，涵盖涡扇、涡轴、涡桨、涡喷等4大类。其中，AEF50E涡扇发动机、AEP50E涡桨发动机、AEF20E涡喷发动机等3款可用于无人机的发动机，旨在填补我国急需的无人机动力空白。

### 系统外资本大举进入发动机产业

活塞发动机方面，受国内通用航空产业以及无人机产业发展的刺激，民营企业大举进入航空活塞发动机产业。以安徽航瑞动力和重庆宗申航发为代表的企业坚持走自主研发的道路，而以武汉文发航空、隆鑫通用、芜湖钻石航发、山河航空动力、厦门林巴赫航发为代表的公司则选择收购国外成熟发动机公



在2018年中国航展展出的AEF50E 涡扇发动机



在2018年中国航展展出的AEP50E 涡扇发动机

司或者以成立中外合资公司的模式进入航空发动机领域。近期，宗申航发的C115发动机已经配装在“彩虹”3无人机上，并实现了小批量生产销售。

涡轮燃气发动机方面，主要针对国内高端无人机对动力的强劲需求，以及未来国内通用航空发展的良好预期，中国航发以外的单位，或通过联合资本和科研机构、或通过引进国外技术、或通过自身实力研发的手段，纷纷进入此领域。如中国科学院工程热物理研究所联合陕西炼石有色资源股份有限公司，研发7.5 kN推力级涡扇发动机，同时还在研发4 kN和10 kN推力级小型涡扇发动机；北京航空航天大学联合泸州市政府成立泸州研究院，正在研发100kW级涡轴发动机，旨在建立国内中小型航空发动机生产研发基地；安徽应流航空联合德国SBM涡轮公司开发了97kW和120kW两种型号的涡轴发动机，配装自行研发的有人和无人直升机；华擎航发正在自行研发5kN级涡扇发动机；上海尚实能源正在自行研发500 kW的辅助动力装置（APU）和600 kW级涡桨发动机；同时，越来越多的民营企业，如德阳钰鑫机械、威斯德姆（Wisdom）涡轮、贵州黎阳天翔、新奥动力等公司在地面燃气轮机领域有了一定积累后，也在试图进入航空发动机领域。

### 小型涡喷发动机发展迅猛

随着军民融合战略的深入实施，军队实战化训练的持续推行，一次性使用的靶机、靶弹市场向民营企业持续扩大开放，国内多家民营企业开始自行研发高速靶机产品，如北京金鹏达航空、绵阳富莱特航空、

中天泽智能装备等。与此同时，其对配套使用的小型涡喷发动机的需求出现了井喷之势。除了拥有传统优势的中国人民解放军总参谋部第六十研究所之外，北京中科岱宗航空、北航泸州研究院、北京驰宇空天技术、常州环能涡轮动力、上海南迅航空科技、雷霆涡喷等新势力也都在研发各自的小型涡喷发动机产品。

此外，国内高端航模市场对航模用的微小型涡喷发动机的需求也出现了井喷之势。保定玄云涡喷动力、中动航空科技、雷虎飞行器集团等国内民营企业敏锐地抓住了市场需求，开发出了一系列航模飞机的小型涡喷发动机和小型涡轴发动机，满足航模爱好者的需求。

## 中国无人机动力的发展方向 补足短板，完善现有发动机谱系

除了在传统的领域，如大推力高推重比涡扇发动机、大推力高涵道比商用涡扇发动机、中大功率涡轴发动机等继续夯实技术基础，追赶国际先进水平，满足目前国家的重大战略需求，以及未来大型空中无人平台的发展之外，也应重点关注我国现阶段以及未来中小型空中无人平台发展对动力装置的迫切需求，为其提供多种选项，完善我国航空发动机的型号谱系，如功率不大于300kW的活塞发动机配装低空低速无人机；功率不大于600kW的涡轴发动机配装旋翼无人机；推力范围为0.4 ~ 2 kN的涡喷发动机，配装靶机、靶弹、高速无人机；推力范围为2 ~ 50 kN的涡扇发动机，满足中高端无人机平台多样性的动力需求等。

### 布局未来，加强技术储备

应从长远出发，坚持动力先行的原则，积极开展无人机动力装置的预先研究和自主创新工作，为适应未来无人机发展的要求打下坚实的基础。

### 军民融合，发挥各自优势

针对活塞发动机，由于其与通用航空发动机的通用性，应充分发挥通用航空市场发展的牵引作用，调动民营资本的积极性和灵活性，降低研发成本，减少研发周期，以民养军，以民促军。

对于短寿命涡喷发动机、小推力涡扇发动机、小功率涡轴发动机等技术门槛相对较低、通用航空属性明显、制造难度相对较低的产品，应充分发挥市场优势，共享资源，引导民营资本发挥自身优势，优化产业结构，共同促进产业的健康快速发展。

而对于中大推力涡扇发动机、中大功率涡轴/涡桨发动机等技术含量高，制造难度大的硬骨头，应该充分发挥央企单位“集中力量办大事”的体制优势，集中力量，早日攻克技术难关。

## 结束语

目前我国无人机动力短板多、差距大，要实现跨越式发展，首先要认清现实，承认差距；但更重要的是凝聚信心，集全国之智，齐心协力，脚踏实地，在现有的技术基础上认真总结、仔细优化。实现无人机动力装置的赶超和引领的历史使命，虽道阻且长，但毅行必至。 **航空动力**

（王士奇，中国航发研究院，工程师，从事航空发动机总体性能工作）