

# 通用航空动力先进技术发展思考

## Development of Advanced Technology for General Aviation Powerplants

■ 金中平 杨锐 / 中国航发

在通用航空动力领域，我国以AES100为代表的先进涡轴发动机性能已达到国际同代产品的水平，工程研发管理工作也迈上了新的台阶，接下来要探索更节能、更低碳的未来先进动力的技术发展。

**通**用航空广泛应用于短途通勤、应急救援、工农林业、警务执法、公务飞行等领域。通用航空动力涵盖航空动力所有类型，是科技水平和经济实力的综合体现，是航空强国不可或缺的重要组成。通用航空动力腾飞必将助力民用航空和航空动力的“两翼”齐飞。

表1 中国、美国与全球通用航空飞机数据对比

通用航空相关数据	全球	美国	中国
百万人通用航空飞机数量/架	60	656	3
通用航空飞机数量/万架	44	21	0.41
人口/亿	73.5	3.2	14
GDP/万亿美元	85	21	14.7
人均GDP/万美元	1.1	6.3	1.05

### 国内通用航空动力市场足够大

美国拥有通用航空飞机21万架（占全球一半），2万个通用航空机场，60万人持有驾照。中国的国内生产总值（GDP）已达到美国的70%，国土同样辽阔，人口更多，随着空域逐步放开，国内通用航空产业有望达到全球10%的规模。中国、美国与全球通用航空飞机数据对比如表1所示。

2020年，国内拥有通用航空飞机4165架，其中国产949架。按过去10年10%的年均增速计算，未来15年国内通用航空飞机将新增16822架，发动机新增22850台，涡轮发动机和活塞式发动机数量将各占一半，但价值上涡轮发动机占比超过90%，涡扇发动机、涡轴发动机价值占比最高。

当前，拥有美国联邦航空局

（FAA）、欧洲航空安全局（EASA）型号合格证（TC）的进口发动机通过中国民用航空局型号认可证（VTC）进入国内，主导着国内市场。由于通用航空动力的安全性和技术要求低于商用，更适合后来者进入并筑牢基础。国内企业近年纷纷开始布局通用航空动力，重点发展价值和门槛更高的涡轮发动机，覆盖多用途需求。

航空工业通飞、哈飞、昌飞、洪都等通用航空飞机企业已初具规模，中电科芜湖钻石飞机制造有限公司等企业通过国外并购迅速赶上，顺丰、京东等公司的货运无人机以及锐翔电动飞机已走在世界前列。

### 通用航空动力先进技术实践

通用航空动力正面临更新换代，以WZ8A/D、WJ5、WJ6、WJ9为代表的

国产第二、三代取证发动机已基本退出市场，亟待推出技术更为先进的民用发动机，形成产业化发展，分享高速增长的中国及“一带一路”市场。目前，国产多型第三代涡轴发动机使用已达数百万小时；第四代涡轴发动机中，中法合作的WZ16已取得民航型号合格证（TC）和生产许可证（PC），即将随AC352交付首家用户，AES100涡轴发动机研发顺利即将取证，AES100改涡桨/涡扇发动机、AES20涡轴发动机正加速研制。

#### AES100 涡轴发动机

目前，我国已经自主创新研制了1000kW功率级第四代先进民用涡轴发动机AES100，产品研制突出技术先进性、可靠性和长寿命，AES100涡轴发动机总体布局如图1所示。综合先进指标、技术传统和衍生发展等要素，发动机采用中等

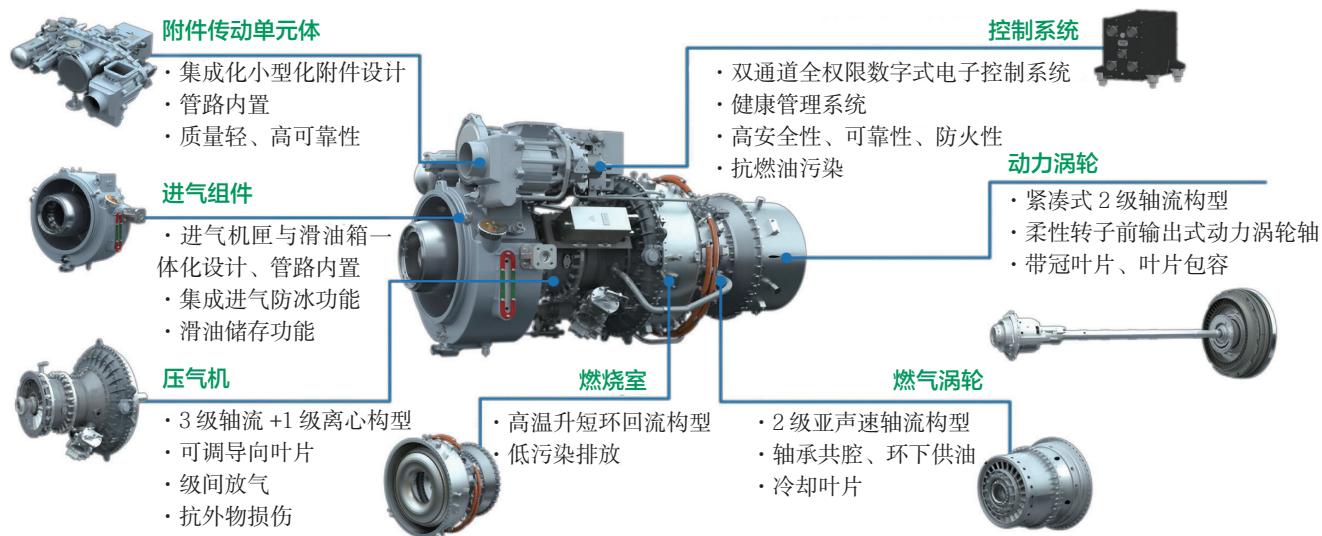


图1 AES100涡轴发动机总体布局

热力循环参数、高部件效率的技术路线，使用轴向进气、组合压气机（3级轴流+1级离心）、回流燃烧室、双级燃气涡轮和双级动力涡轮。基于适航取证及目标成本，确定了需攻关的先进压气机和涡轮、轴承共腔、环下供油、集成化附件传动和油滤组件、低成本双通道全权限数字式电子控制（FADEC）系统、健

康管理系统（性能预测和寿命管理）等关键技术，第四代涡轴/涡桨发动机典型先进技术特征如表2所示。

在研制过程中严格做好需求分析与定义、概念设计、初步设计、详细设计、试制与验证的民机研制五阶段管理，特别是在需求分析与定义阶段清晰定义发动机及部件/子系统的需求，分解到零件/成附件的

技术协议和产品规范中，作为研制和鉴定验收依据。自主研制过程实际上是从需求定义到验证的正向研制迭代过程，适航要求仅占需求的1/3，更多来自市场、客户及竞争力需求。

AES100涡轴发动机试验结果表明：起飞耗油率 $\leq 0.276\text{kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ，空中启动/飞行高度 $\geq 7000\text{m}$ ，首翻期 $\geq 3000\text{h}$ ，达到国际先进水平。双发已配装直升机首飞，签约首家先锋用户“彩虹”倾转旋翼无人机。

AES100涡轴发动机的材料/工艺标准等厂所联合企业标准已渐趋完善，构建起了材料适航体系，完成了适航摸底试验，确定了取证构型，顺利通过部分取证试验，预计2024年上半年完成适航取证。

### AEP100 涡桨/AEF100 涡扇发动机

基于AES100涡轴发动机先进整机平台/核心机，衍生发展的AEP100涡桨发动机、AEF100涡扇发动机，如图2所示，将通过快速适

表2 第四代涡轴/涡桨发动机典型先进技术特征

序号	第四代涡轴/涡桨典型先进技术	技术特点
1	先进热力循环总体匹配	中高热力循环
2	高负荷/低损失压气机	整体叶片盘
3	小流量燃油雾化燃烧室	双油路提升高空性能
4	燃气涡轮空心冷却叶片 动力涡轮包容性	双级涡轮降低负荷 叶片包容，避免盘破
5	附件传动、燃滑油管路集成化	管路减少50%，提升维修性和防火
6	高可靠性/长寿命FADEC系统 健康管理分析与诊断	多余度、泵自吸 振动、磨屑、寿命监视
7	轴承共腔、环下供油润滑	减少轴向尺寸 提升润滑效能
8	低成本设计/制造	选材、结构、工艺



图2 AEP100涡桨/AEF100涡扇发动机

航取证和量产形成规模优势。

AEP100涡桨发动机在AES100涡轴发动机基础上，增加了体内减速器，适应性改进进排气系统、FADEC系统，利用部件、整机验证成果，研制的900kW功率级先进涡桨发动机，适用于单/双发通用航

空飞机、无人机，预计于2025年取证。

AEF100涡扇发动机沿用AES100核心机，新研单级风扇，改进低压涡轮、排气段、FADEC系统和附件传动系统，研制了8kN推力级中等涵道比涡扇发动机，适用于单/双发小

型公务机、无人机。

### AES20 涡轴发动机

基于AES100涡轴发动机突破的关键技术和建立的材料/工艺适航体系，针对日益显现的1t级有人/无人直升机、混合电推进动力需求，开发了低成本小功率涡轴发动机AES20，总体布局如图3所示。典型结构包括前置减速器与附件传动系统、径向进气、1级离心压气机、回流燃烧室、1级燃气涡轮+1级动力涡轮和FADEC系统。

AES100涡轴发动机起飞功率220kW，满足高温、高原使用环境。为了突出成本竞争力，AES20涡轴发动机大量选用AES100涡轴发动机所用材料、成附件，降低成本，缩短周期，预计于2025年取证。

### 未来先进动力技术挑战

航空百年发展史，从最初的技术驱

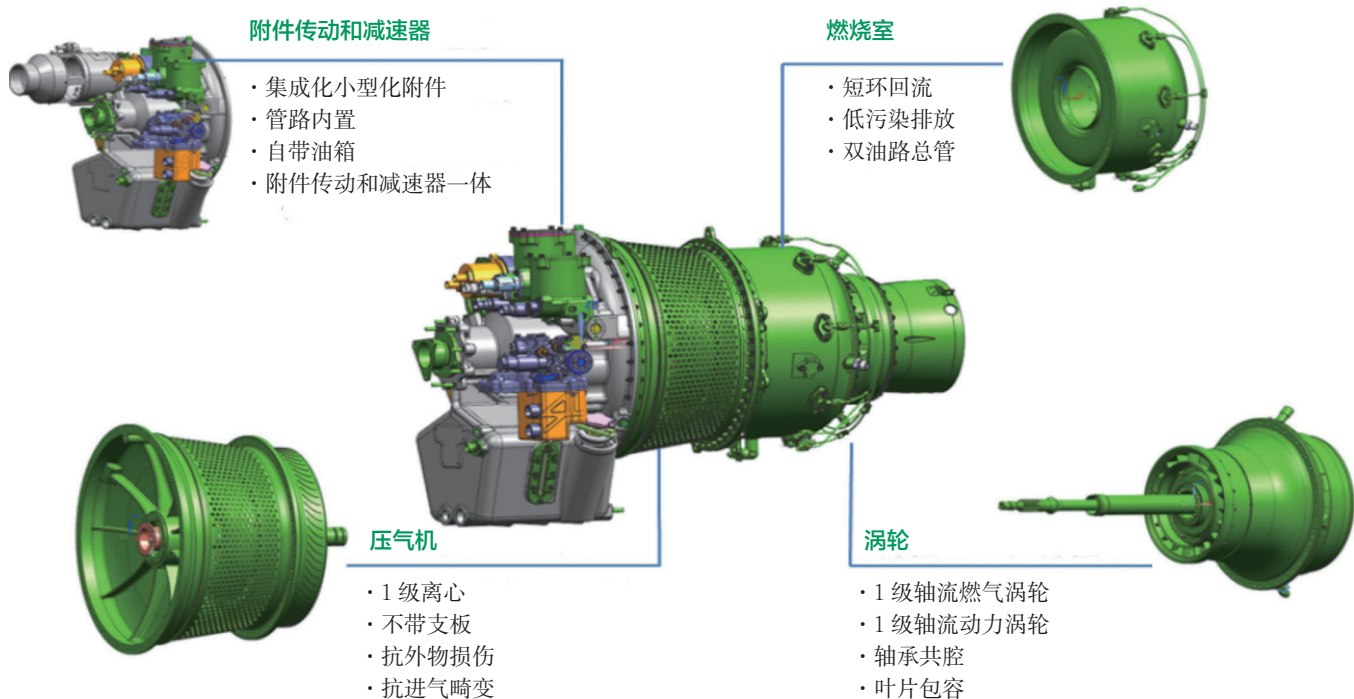


图3 AES20涡轴发动机总体布局

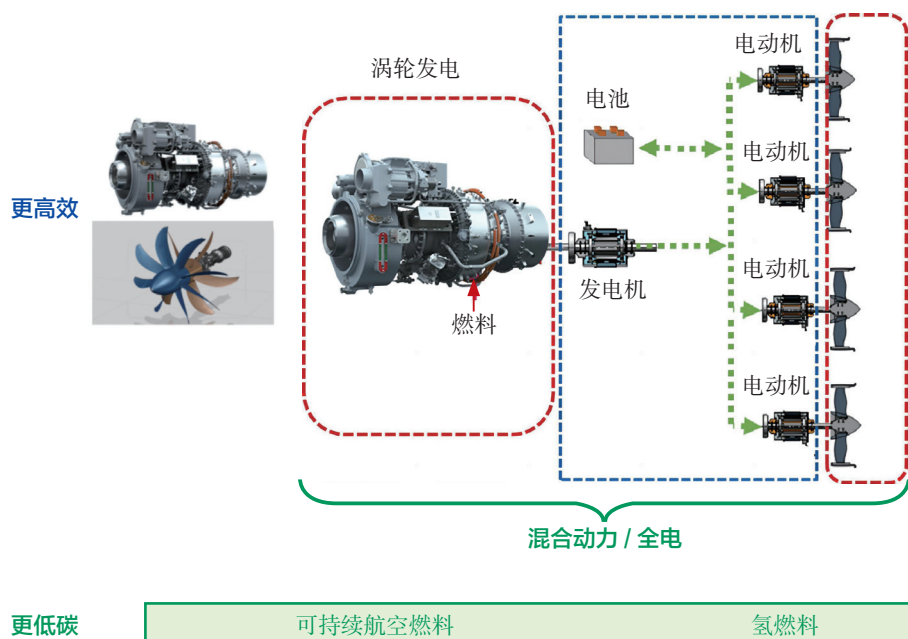


图4 实现净零碳排放途径

动逐渐转为市场驱动，再到将来的环保驱动。全球航空业承诺到2050年实现净零碳排放，中国目前是全球第一大碳排放国，也必将顺应时代变革，通过使用更少的燃料和更清洁的燃料实现“双碳”目标（见图4）。

### 下一代传统构型涡轮发动机

面对未来更高压力、温度、寿命、可靠性和集成化制造的挑战，传统构型发动机发展趋势包括更先进总体热力循环、更高压气机压比和效率、出口温度更高的低排放燃烧室、复合冷却空心涡轮叶片和陶瓷基复合材料（CMC）、体现绿色制造的3D打印、新材料/技术/工艺适航验证、高可靠性以及长寿命。

### 新构型涡轮发动机

齿轮传动、桨扇等新构型涡轮发动机的原理并不复杂，几十年来一直在开展研究，挑战主要来自总体匹配、噪声、振动、可制造性以及包容性等。经过巨大投入和持

续改进，普惠公司的齿轮传动涡扇（GTF）发动机已成功应用于单通道商用飞机。桨扇发动机可实现更低油耗，但需要应对桨扇噪声控制、减速器振动抑制、大功率动力涡轮变转速、桨/发一体化单杆控制等挑战，中国航发研研所已将WJ9发动机改装成对转桨扇发动机，开展了演示验证试验研究。

### 油电混合动力

油电混合动力可分为分布式构型、传统构型+电动机两种。

分布式构型利用涡轮发动机发电、电池补电，驱动分布式旋翼/螺旋桨。2022年年初，中国航发研研所80kW混合动力原理验证机实现首飞。

而传统构型+电动机是在涡轮发动机驱动旋翼/螺旋桨基础上，电池驱动电动机并通过减速器补充功率，解决起飞时的功率不足。油电混合动力系统的功率密度高于全电动力系统，低于涡轮发动机。全电动力飞机适合替代短航时的轻小型

活塞式飞机，油电混合动力更适合中短途的通勤飞机。

### 可持续航空燃料

使用可持续航空燃料（SAF）的优势是不需要对飞机/发动机进行改装，直接使用100%SAF，可减少多达80%的碳排放。缺点是产量少、成本高，国产民用发动机需加快验证。

### 氢能源动力

氢作为可再生能源，燃烧热值高、清洁无污染，能有效降低二氧化碳和氮氧化物排放。但存在诸多因素制约氢燃料发动机商用，例如，氢燃料火焰稳定燃烧、高温合金氢损伤、密封与控制计量要求高等。氢燃料电池基于液态氢与空气中的氧结合而发电，用以驱动飞机，可看作是电解水的逆反应，同样面临氢制备能源消耗大、成本高、机场设施及适航等待解难题。

## 结束语

国内涡轴/涡桨发动机技术基础足以支撑研制性能先进的通用航空动力，难的是将高可靠性、长寿命、低成本、维修性好、结构简单、质量轻等产品需求，逐级分解，量化传递，通过技术攻关、设计开发、制造实现、试验验证表明符合性，将有规可依、有据可查贯穿到产品实现全过程，保证初始和持续适航安全，实现商业成功。以AES100涡轴发动机为代表的通用航空动力自主研发，正在夯实这一基础，加速完善这一过程，最终将实现这一目标，以迎接未来先进通用航空动力技术发展更大的挑战。

### 航空动力

（金中平，中国航发，研究员，主要从事民用航空发动机项目管理相关工作）