

涡轴 16：中法合作的结晶

WZ16 Turboshaft

■ 石建成 单晓明/中国航发动研所

民用航空发动机是航空动力的重要组成部分。目前，世界军民用航空发动机的销售额比例达到2：8，民用航空发动机占据了世界航空动力产业的主导地位，市场容量十分巨大。国际合作、共同投资、风险共担、优势互补、市场共享是民用航空发动机发展的大趋势。

研制背景

新中国成立以来，我国航空动力产业快速发展，但产业结构和能力布局以军用航空发动机为主，民用航空发动机总体水平较世界先进水平存在较大差距，导致国内民用发动机市场长期被国外产品垄断。为提高我国航空发动机的整体水平，满足市场需求，2008年7月15日，中国航发哈尔滨东安发动机有限公司（中国航发东安）与法国赛峰直升机发动机公司（原透博梅卡公司）签署协议，以50%：50%的比例合作研制涡轴16发动机（法方代号为阿蒂丹3C），以满足AC352直升机动力装置的需求，中国航发动研所为中方总设计师单位。

涡轴16发动机（见图1）是我国第一型拥有自主知识产权的民用涡轴发动机。通过该型发动机的研制，使我国涡轴发动机研制技术及项目管理与国际接轨，极大地促进我国民用航空发动机技术进步，带动了航空产业结构调整，取得了良好的经济和社会效益。

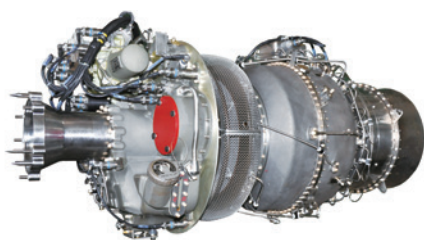


图1 涡轴16发动机

技术特点 设计指标

涡轴16发动机是一型单转子涡

轴发动机（见图2），本体由带防护径向进气装置、双级离心压气机（见图3）、环形回流燃烧室、单级轴流式燃气涡轮、双级动力涡轮及高度集成式附件传动机匣等组成；发动机按单元体结构设计，由附件传动单元体、燃气发生器单元体、动力涡轮单元体等3个单元体组成；采用双通道全权限数字式发动机控制（FADEC）系统控制，由起动发电机起动。

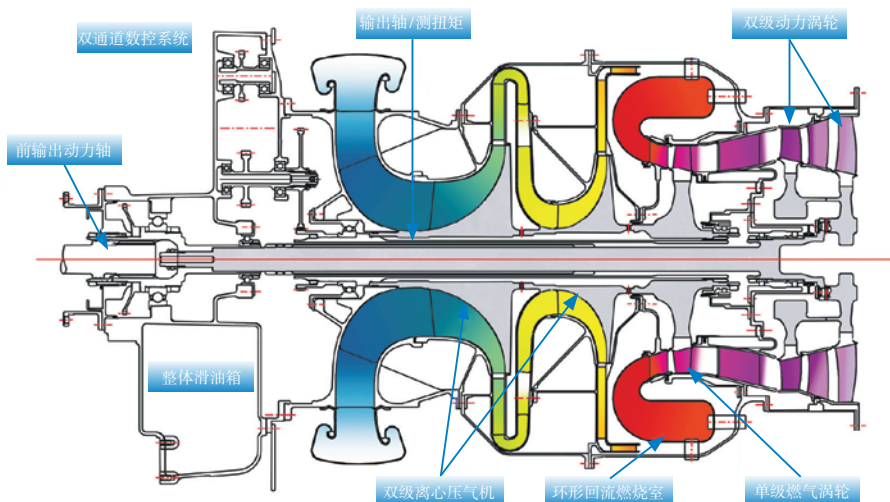


图2 涡轴16发动机剖面图

涡轴16发动机采用中等循环参数及高部件效率的设计，具有高功重比、高单位功率、低油耗、高可靠性、优良维修性、先进控制及故障诊断等优点。海平面、标准大气条件下性能参数见表1。

技术特征

涡轴16发动机具有先进民用涡轴发动机的显著特征：高安全性、高可靠性，良好的经济性和维修性，设计中广泛采用了目前成熟的先进技术。在发动机总体布局方面，采用先进的单元体设计、典型的功率轴前输出方式、轴承共腔布局等，简化发动机结构、优化载荷传递，提升整机安全性、可靠性和寿命。在部件设计中，贯彻了高效率、低污染、集成式、双通道、工艺性良好、经济且绿色环保等设计理念。

涡轴16发动机采用动力涡轮轴与燃气发生器转子轴同心的结构布局，动力涡轮功率通过动力涡轮轴、功率输出轴传递给直升机传动系统；动力涡轮轴上集成了扭矩测量装置，位于前部低温区域，以提高发动机

输出扭矩测量的可靠性；发动机功率向前输出，有利于避免因机动飞行时吸入尾气而带来喘振、停车等故障，便于直升机进/排气系统设计，有效减轻安装重量。

发动机采用单元体设计理念，单元体界面简单清晰，具备在外场更换单元体的能力，更换单元体无需特殊工装，简化了产品维修程序，降低了维修难度，缩短了维修总时间，从而降低了全生命周期的运营成本 and 维修成本，提高了产品的市场竞争力。

压气机采用双级离心式压气机，在无进口可调导叶和级间放气装置、极大降低结构复杂度的情况下，保证了全包线工作范围内的高部件效率和安全裕度，具有零部件数量少、结构简单紧凑、抗沙尘和抗进气畸变能力强、可靠性高等优点，代表了当代先进压气机的技术水平。

高度集成式附件传动和油滤组件集成了大量内部油路和气路，减少了零件数量，提高了可靠性和安全性，有效降低了制造成本和使用

成本。相对以往的发动机，涡轴16发动机的外部管路数量减少了约30%。附件采用集成化、共轴、高速、小型化设计，减少了齿轮数量，节约了安装空间，能够缩减整台发动机的轮廓尺寸。

控制系统为双通道FADEC系统，其主要附件（如电子控制器、燃油调节装置等）均为双通道结构，并集成了独立的电子式超转保护系统，充分保证了系统的安全性和可靠性。此外，系统所有附件均为现场可更换单元，有效地提高了发动机的维修性，从而降低了全生命周期费用。

面向用户的设计理念

为满足安装、使用和维护要求，提升客户体验，直升机与发动机的飞发设计协调也采用了并行工程模式。在发动机方案设计阶段，就启动了与直升机的安装设计协调工作，并随设计同步深入细化，逐步开展基于全三维数字化样机的虚拟仿真分析、人机工程优化、全尺寸物理模型检查，并提出优化和改进措施。

表1 基本性能参数表

参数	数值
发动机进气流量 / kg/s	4.63
动力涡轮转速 / r/min	21000
起飞功率 / kW	1243
起飞耗油率 / kg/(kW·h)	0.287
功重比 / kW/kg	5.62
发动机质量 / kg	223.3
首翻期 / h	3000
首翻期（成熟期） / h	5000



图3 涡轴16发动机双级离心压气机



图4 涡轴16发动机车台试验



图5 涡轴16首装AC352成功首飞

结合民机特点，考虑产品全生命周期成本，涡轴16发动机设计耗油率低，结构设计简单、紧凑，在线更换单元维修性好，单元体更换快捷方便；先进的设计及优良的制造，使发动机振动小，有利于降低直升机振动，提高座舱舒适度。

安全环保性能

涡轴16发动机可满足最新发动机适航标准要求，将发动机安全性放在最重要位置，从发动机结构设计和控制逻辑上采取防护措施确保所有危害性事件发生概率均低于 10^{-7} 次/飞行小时。从民机绿色环

保的特点出发，涡轴16发动机按CCAR-34部环保规章考核，采用了低污染燃烧室设计，发烟数不超过20，远高于环保标准（同功率等级其他类发动机发烟数要求不超过50），充分体现了良好的环保性。

目标市场

涡轴16发动机首个装机对象为AC352直升机，也可作为其他6~8t级双发直升机或13t级三发直升机动力；其发展型功率可以提高15%，可满足8~10t级双发直升机的需要，为国内外消防、医疗、警用、海关、搜索与救援等民用直升机提供动力。

研制最新进展

2013年，涡轴16发动机实现了首次车台试验（见图4）。2016年12月，涡轴16发动机首装AC352直升机在哈尔滨成功实现首飞（见图5），标志着研制工作取得重大进展。目前，正在开展适航取证工作，已完成大部分适航取证试验和适航文件编制，预计2019年取得中国民用航空局颁发的型号合格证；阿蒂丹3C发动机已于2018年4月5日取得欧洲航空安全局（EASA）颁发的型号合格证。

结束语

涡轴16发动机填补了我国1300kW功率级民用涡轴发动机空白，并具有较强的功率提升潜力。该发动机的研制将改变过去国内民用涡轴发动机经济性和可靠性较差，无法全面满足用户需求的局面；促进我国民用航空发动机研发基础和民机工业整体水平跨越式提升。 **航空动力**

（石建成，中国航发动研所，型号总师）