

# 以国际合作，促自主研发 ——涡轴 16 发动机的创新发展之路

## The Innovation Development of WZ16 Turboshaft

■ 李永佳 宫新华 / 中国航发东安

通过与赛峰直升机发动机公司的对等合作和项目团队的不懈努力，中国航发的涡轴 16 (WZ16) 发动机于 2019 年 10 月取得了中国民航局颁发的型号合格证，实现了我国中等功率级民用直升机动力零的突破，探索出了一条以国际合作促进自主创新的融合发展之路，也为提升我国航空发动机研制的项目管理水平积累了宝贵经验。

在 市场需求的拉动下，民用航空发动机产业迅速发展，现已占整个航空发动机市场价值的 70% ~ 80%。国家高度重视民用航空产业发展，2005 年以来相继实施了大飞机专项和“两机”专项，为我国民用航空产业，特别是民用航空发动机产业的发展指明了方向。

另一方面，航空发动机技术、成本以及市场的三重风险为这个行业竖起了一道很高的门槛。目前全世界在役民用发动机总量超过 50000 台，GE、罗罗、普惠和赛峰四大公司及其合资公司占据 90% 以上的市场份额，几乎控制了全球大型民用航空发动机的核心技术研发、整机设计、总装集成、销售及客户服务的全产业链。作为后来者，我国航空发动机产业如何突破门槛、实现跨越式发展成为摆在中国航发人面前的一个重要课题。

GE 与法国斯奈克玛公司 (2016 年 6 月更名为赛峰飞机发动机公司) 合作开发 CFM56 系列发动机的成功证明，遵循国际通行的模式，与国际巨头携手合作发展是实现突破、融入国际先进航空制造业、提升本国在国际航空产业链中的地位的必要之路。涡轴 16 (WZ16) 的对法合作便是在这样的背景下应运而生。



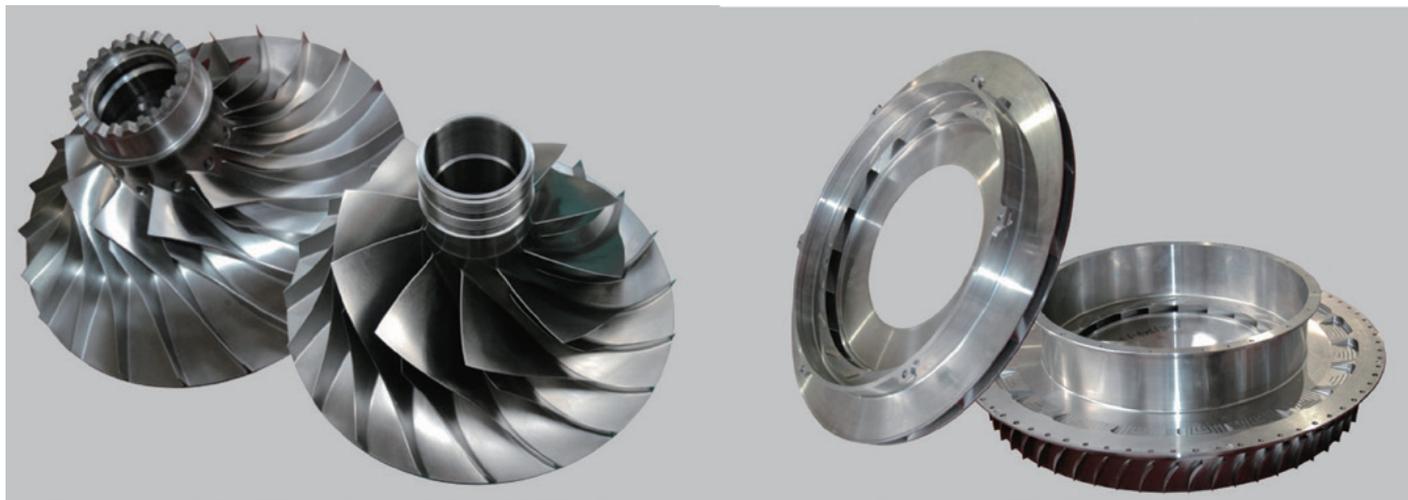
WZ16 发动机

### 抓住合作机遇 扬帆启航

中法两国在航空工业领域的合作是中法关系的重要组成部分，也是值得浓墨重彩的部分。早在 20 世纪 80 年代，法国透博梅卡 (2016 年 6 月更名为赛峰直升机发动机) 公司，通过“海豚”直升机配套的阿赫耶发动机的生产许可证授权引进的机会，就与中方建立了合作关系。

2005 年，在温家宝总理与法国总理德维尔潘的见证下，当时的中航工业第二集团公司 (2008 年与中航工业第一集团公司合并为中国航空工业集团有限公司) 在与欧洲直升机公司 (2014 年更名为空客直升

机公司) 签订合作研制 7t 级 AC352/EC175 民用直升机合作协议的同时，也与赛峰集团达成了共同研制先进涡轴发动机的合作意向，但双方准备合作研制的阿蒂丹 3 发动机在 AC352/EC175 民用直升机的动力招标中的失败，一度使发动机合作停滞不前。2008 年年初，出于降低 AC352 发动机采购风险的考量，中航工业第二集团公司审时度势，果断决策，抓住机遇，重启与透博梅卡公司的合作谈判。通过历时 5 个月的 6 轮谈判，2008 年 7 月，中航工业第二集团哈尔滨东安发动机(集团)有限公司 (中国航发东安) 与



典型压气机零件——离心叶轮与扩压器

透博梅卡以 50 : 50 对等合作模式联合研制新一代涡轴发动机（中方称 WZ16，法方称阿蒂丹 3C）达成了一致并签订了合作协议。同年 10 月，合作协议正式生效，WZ16 发动机联合研制工作同步在法国博尔德的透博梅卡公司总部启动。

### 综合性能优 发展潜力大

WZ16 发动机以全生命周期成本最低为设计指导思想，结构简单、油耗低、可靠性高、寿命长，其综合性能与国际同功率等级的涡轴发动机相当（见表 1），达到了先进的第四代涡轴发动机水平。在其核心机的基础上，

还可进行涡桨发动机及辅助动力装置（APU）系列化发展。

涡轴 16 发动机主要优势在于以下几方面。

一是结构简单，高度集成。采用单元体设计，全机零组件共 464 种、1691 个（非标件只有 255 种、373 个），较同级别涡轴发动机少 20% ~ 30%；油滤机匣组件集成了燃油滤、滑油滤及 40 多条管路，外观简洁，仅有 12 条外部管路。

二是维修性好，维护成本低。各单元体、附件均可在外场更换，无保险丝，单元体接口采用同一规格的紧固件。

三是可靠性高，寿命长。采用了先进的双通道全权限数字式电子控制（FADEC）系统；发动机成熟期（累计飞行 500000h）的首次翻修期为 5000h，平均故障间隔大于 550h，日历寿命为 20 年。

四是发展潜力大。保有 15% 的功率增长空间；实际试车结果表明功率、耗油率等参数有 5% 左右的裕度，燃气涡轮出口温度有 20K 左右的裕度。

### 国际合作促进自主创新

因为涡轴 16 发动机的研制起点高、技术难度大，为了保证发动机的研发成功，在初始设计和详细设计阶段均是以联合设计模式在法国博尔德赛峰直升机发动机公司总部进行的。中方设计团队依据双方统一的设计规范和接口规范完成了附件传动单元体、压气机等中方工作份额的设计工作，并通过了中法专家组严格的设计评审。通过这样一个自主创新与国际合作双轮驱动的过程，中方的设计理念、标准和方法得到了法方的认可，实现了与国际先进

表 1 典型涡轴发动机的主要指标

型号	国别	功率/kW	耗油率/ (kg/(kW·h))	压比	涡轮前温度/K	单位功率/ (kW/(kg/s))
PT6B-67A	加拿大	1324	0.321	12.0	-	247
CTS800-4	美国	1014	0.285	14.0	-	286
阿蒂丹 1H1	法国	1032	0.283	12.7	1450	271.6
VK2500	俄罗斯	1864	-	10	1293	200
WZ16	中法合作	1249	0.287	13.2	1470	268

企业的接轨。

在制造方面，考虑到发动机技术难度大、零件精度高、管理要求细、质量控制严、计划节点刚性等情况，中国航发东安在项目伊始便开展了“并行工程”工作。在设计图样尚未冻结的情况下，识别并梳理技术难点，开展了大量的工艺试验和工艺攻关，掌握了以抗疲劳制造为代表的先进涡轴发动机冷端部件的核心制造技术，为发动机工业化的顺利开展奠定了基础。在工艺攻关及工业化阶段，参考法方的经验，依托发动机全数字化设计的有利条件，中国航发东安特别重视制造和检测中的管理系统化、过程自动化和控制精细化，突破了以叶轮、扩压器等复杂型面零件自动化检测为代表的先进技术，提高了制造效率，降低了制造成本。

## 推动管理创新实践 构建民机研制体系

“一代产品，一代技术，一代管理”。面对国际合作项目的新要求、面对自身能力与经验无法满足项目要求的“阵痛”，项目团队深感对等合作需要具备与国际接轨的技术管理水平。项目团队上下在消化吸收赛峰直升机发动机公司的项目管理经验和特点的基础上，充分借鉴现代项目管理体系的思想，基于自身的实际情况，在WZ16的研发过程中积极开展项目管理实践，特别是在组织管理、计划管理、沟通管理、质量管理、风险管理等方面开展了大量创新实践，并将好的思路和做法融入到公司的管理工作之中，进一步完善了各相关工作的管理要素，细化了管理流程，提升了公司整体管

理水平。

在项目推动的过程中，中国航发东安始终高度重视技术质量管理的体系建设工作，在原有军机管理体系的基础上，借鉴法方在特种工艺确认和鉴定、首件鉴定、不合格品处理等方面的要求，针对技术、质量和管理所涉及的人、机、料、法、环、测等各个因素，以规范化文件的形式加以规范，逐步构建了适应民机特点、满足合作需求的民机研制体系，使公司在技术和管理等方面逐渐实现了精细化和标准化。

## 强化自身能力 解决国际合作项目适航审查问题

适航取证历来是国际合作项目棘手的难题。按合作协议，双方要分别取得各自局方的适航证，并相互支持对方取证。2010年，中国航发东安向中国民航提交了型号合格证（TC）申请，随着工作的深入，适航取证的困难远远超出预期。

第一，总体集成管控能力不足，审查组要求按完整的新研型号进行审查，而对于双方联合研制的发动机，中方难以独立向审查组全面表明符合性；第二，法方份额审查难度大，当时中欧适航当局尚未签署双边协议，欧洲当局的审查工作无法直接作为中方的审查依据，航空发动机的部分关键技术受到严格的出口管制，加之法方是按改进改型进行研发和审查，部分取证试验不再单独安排；第三，适航规章和审查程序采用最新版本，取证要求进一步提高；第四，中方适航能力亟待提升，民机型号研制中断多年，适航机构不健全、人才匮乏，缺乏适航经验；第五，用户需求迫切，

AC352的法方对应型号H175从2014年开始已经交付用户，市场迫切需要该级别的直升机，中国航空工业受到来自用户和合作方空客直升机开放市场的巨大压力。

在被动形势下，项目团队一致认识到，打铁还需自身硬。2016年，随着中国航发集团的正式成立，在集团层面开始部署WZ16发动机的适航取证工作，通过能力建设、资源保障、沟通协调等三方面措施促进了WZ16发动机的适航取证进程。

首先，加强申请人适航能力建设，强化申请人的责任意识。在组织层面，东安和动研所分别完善了内部的适航组织机构，专门负责适航技术研究和适航管理工作；在人力资源方面，增强了适航专业人员的配备，同时组织前期负责设计和试验的人员参加到适航文件的编写工作中；此外，通过组织面向全体参研人员的适航培训和委任代表资格培训，全面提升了申请人内部管理和技术人员的适航理念和适航专业能力。

其次，加强资源保障，调动集团内外资源，全面配合适航取证工作。针对申请人不熟悉的内容，从集团层面协调专业研究所派出专家参与到相关工作中来；同时，与中国民航审定中心商定了定期集中审查的机制，优先保障了局方对WZ16的审查资源投入。

最后，积极做好对外协调工作。加强与审查方（中国民航适航审定司和审定中心）的沟通，按照最新的规章和程序分专业制订新版适航审查计划，分解行动项，识别相关风险并划分风险等级，逐项落实、追踪；利用中欧适航双边协议签订契机，促进中欧适航当局在项目审



WZ16发动机型号合格证取证发布会暨首批订单签约仪式

查中的沟通。对用户，与中国航空工业的多次协调沟通，并走访最终用户，通报进展，增强用户信心；对合作伙伴，将赛峰直升机发动机配合审查问题提升至两个集团的战略合作层面商议解决，通过高层协调，促成了审查组赴法现场审查。

在适航团队的不懈努力下，随着项目适航工作的推进，申请人自身的能力和水平不断地提升，合作方态度也随之转变，配合审查逐步到位，加上中国民航各级领导的重视和推进，审查组对工业方及其产品的信任度渐渐提升。中国航发东安和动研所共同以法方的适航支持和中国自行开展的适航符合性验证工作为基础，向中国民航局提交报告，表明符合性。

2019年9月，全部审查工作顺利完成；9月27日，WZ16发动机型号合格审定委员会给出了准予颁证的建议；10月8日，中国民航局适航审定司正式向中国航发东安颁发

了WZ16发动机型号合格证。WZ16发动机成为了我国首型完成适航取证的国际合作的发动机，为我国后续民用航空发动机适航取证工作的开展进行了有益的探索。

### 继续对标国际 实现商业成功

虽然WZ16发动机已经取得了型号合格证，但这仅仅是一个阶段性的成功。作为一型民用发动机，它还要迈过产业化和市场化两个关口，还有生产许可、持续适航、售后服务、市场开发、成本工程等一系列工作需要完成。

目前，中国航发东安正按计划建设WZ16专业化生产线，并已初步形成批产能力。2019年3月，中国航发东安已向中国民航东北地区管理局提交了WZ16发动机生产许可（PC）增项申请书，并已获得受理，预计2020年完成生产许可增项审查工作，正式投放市场。

与此同时，中法双方正在谈判设立售后服务合资公司，在国内建立覆盖所有用户的发动机售后联合机构，向用户提供世界一流的维护、修理和技术支持服务。

### 结束语

在国家大力发展航空发动机的战略布局下，国产民用发动机产业发展正驶入快车道。作为一个先行者，WZ16发动机填补了我国中等功率级民用涡轴发动机的空白，闯出了一条国际合作促进自主创新的融合发展之路，探索出了一条满足中国民航适航规章的国际合作发动机取证之路。未来，WZ16发动机还将再上征途，在民用发动机的持续适航、售后服务等方面继续探索，为我国民用航空发动机产业发展再立新功。

**航空动力**

（李永佳，中国航发东安，高级工程师，从事民用航空发动机项目管理工作）