

中小型民用航空发动机自主研发路径探讨

Discussion on the Path of Independent Research and Development of Small and Medium-Sized Civil Aero Engines

■ 宁勇 邹靖华 / 中国航发南方

通用航空市场的蓬勃发展拉动了对中小型民用航空发动机的需求。长期以来,我国的中小型民用航空发动机市场几乎全被国外发动机制造商所垄断,产业发展也相对滞后,主要体现在民用产品型号少、功率覆盖范围窄、价格偏高、可靠性不足等方面。发展我国的中小型民用航空发动机,走出一条自主研发的道路,实现军民融合式发展的战略目标,是我国航空发动机事业发展的当务之急。

中小型民用航空发动机的特点

中小型航空发动机一般指5000kW级以下涡轴/涡桨、活塞发动机及50kN级以下涡扇、涡喷发动机。与军用航空发动机主要以突出作战性能、满足战术技术指标为设计出发点不同,中小型民用航空发动机须根据飞机制造厂商或航空公司的要求进行总体设计,由民航的专门机构进行适航管理,在满足用户使用要求的基础上,更加注重安全性和经济性。因此,中小型民用航空发动机具有以下特点。

可靠性高、维修性强和寿命长

中小型民用航空发动机由于其用途广泛和服役时间长的特点,对可靠性、维修性以及寿命有着十分严格的要求。在中小型民用航空发动机使用前需要适航管理部门颁发适航证,取证期间将对发动机的可靠性、寿命等进行非常严格的考核。

低耗油率、低噪声、低污染物排放

中小型民用航空发动机在设计及制造过程中对发动机的耗油率、

噪声、污染物排放有着十分严格的标准,伴随技术的进步和环境保护的需求,这些标准也在不断提高。

市场竞争激烈、风险大

中小型民用航空发动机的技术、资金和产业门槛都较高,目前能引领技术和商业优势的只有西方国家的几家公司,这些公司在中小型民用航空发动机市场的份额占90%以上。这些行业巨头依靠规模化发展、技术创新和管理创新,呈现强者更强的趋势。新进入者面临较高的行业壁垒和障碍,需要投入的资金巨大,如果不能获得市场份额,将面临极大的经营和投资风险。

中小型民用航空发动机的发展现状

通航产业经过几十年的发展,已经形成了庞大的市场规模,通航机群主要分布在美国、加拿大、欧洲等发达国家和地区。在这样的需求牵引下,世界中小型民用航空发动机产业的发展非常迅速,发动机制造商均投入了大量的资源以确保其技术的领先和市场份额的巩固与扩张。目前,在中小型

民用航空发动机市场领域,竞争非常激烈,基本形成了几家企业垄断的态势。中小型民用航空发动机的主要生产商及产品如表1所示。

中小型民用航空发动机经过多年的发展,已经有了成熟的技术体系和丰富的产品体系,发展的路径主要有自主研发、改进改型和衍生发展。其中,法国赛峰直升机发动机公司先后自主研发了阿赫尤(Arrius)系列、阿赫耶(Arriel)系列、TM333系列、阿蒂丹(Ardiden)系列和马基拉(Makila)系列发动机,功率覆盖范围为350~1600kW,实现了产品的谱系化发展;普惠加拿大公司的PW100系列发动机,是在PW100发动机的基础上,进行了结构改进和功率改进,形成了PW115、PW120、PW127、PW150等发动机,极大地满足了多款运输机和公务机的动力需求,同时,普惠加拿大公司在PT6B型涡轴发动机的基础上成功研制出PT6A型系列涡桨发动机;霍尼韦尔公司则在T53发动机核心机的基础上,成功衍生出T55、LTS101型系列发动机,并取得了巨

表1 中小型民用航空发动机主要生产商及产品

类别	主要生产商	主要产品	功率推力范围
民用涡轴发动机	赛峰直升机发动机公司	阿赫耶 (Ariel) 系列发动机 阿蒂丹 (Ardiden) 系列发动机 马基拉 (Makila) 系列发动机	450 ~ 1600kW
	普惠加拿大公司	PT6B/C 系列发动机	400 ~ 1400kW
	罗罗公司	250-C 系列发动机	200 ~ 500kW
民用涡桨发动机	普惠加拿大公司	PT6A、PW100 系列发动机	350 ~ 4000kW
	罗罗公司	AE2100、T501 系列发动机	2400 ~ 4000kW
	GE 公司	CT7 系列发动机	1200 ~ 1500kW
	霍尼韦尔公司	TPE331 系列发动机	500 ~ 1300kW
民用涡扇发动机	普惠加拿大公司	JT15D 系列发动机	1 ~ 15kN
		PW300/500/600 系列发动机	4 ~ 35kN
	GE 公司	CF34 系列发动机	40 ~ 80kN
	霍尼韦尔公司	HTF7000 系列发动机	27 ~ 33kN
民用活塞发动机	莱康明公司	IO-360/540 系列发动机	100 ~ 250kW
	Rotax 公司	Rotax582/912 系列发动机	40 ~ 100kW
	大陆公司	O-200、TSIO-550 系列发动机	70 ~ 230kW

大的市场成功。

我国引进和自行设计研制了活塞、涡轴、涡桨等多种型号的中小型民用航空发动机。其中，中国航发南方的涡桨6 (WJ6) 发动机是我国唯一同时取得了民航型号合格证 (1994年) 和生产许可证 (1996年) 的涡桨发动机，曾有28台在中国邮政航空公司使用。装配4台WJ6发动机的大型水陆两栖飞机——“鲲龙”AG600于2017年12月陆上首飞成功，2018年10月水上首飞成功。WZ8A/D发动机则是我国目前唯一同时取得民航型号合格证和生产许可证的涡轴发动机，另外HS6K活塞发动机也取得了民航适航证 (TC证)，WJ9取得了生产许可证 (PC证)。

自主研发的难点 研发体系

我国在引进的基础上研发了活

塞、涡轴、涡桨等相关型号的民用航空发动机，但没有一型发动机完成了部件研究—核心机研制—验证机研制—型号研制—使用发展的全过程，自主研发还处于起步阶段，尚未建立起完整的民机研制和生产体系。在设计能力、人才队伍、产业链配套没有跟上的情况下，研发体系的建立难度大。

适航取证

目前我国的适航研究未能贯穿民用航空发动机的设计、制造、试验、使用、维修等各个环节，导致前期研发的民用航空发动机无法全面满足现行适航法规的要求，同时也难以以为以后的民用航空发动机研发提供必要的指导。一直以来，国内的适航标准都是参照国外的适航法规制定，没有形成符合国内工业实际水平的适航标准，部分现有规章要求高于实际工业水平，型号的研制

水平滞后于新适航法规的要求，难以通过适航认证。

高可靠性、低成本设计制造技术

中小型民用航空发动机在结构上普遍采用单元体设计，在减少零部件数量和减轻质量的同时，延长了部件的寿命，从而提高了发动机的可靠性和维修性，降低了全生命周期费用。目前，我国中小型民用航空发动机总体设计能力比较薄弱，制造技术难以满足高可靠性的要求。

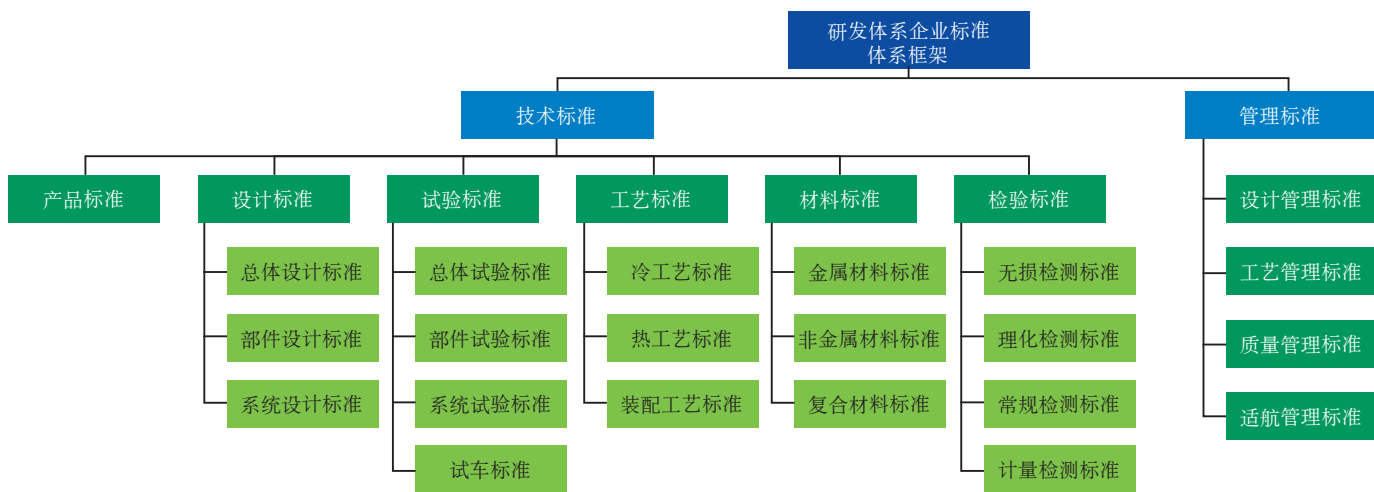
中小型民用航空发动机的低成本模式是在通用航空市场赖以生存的手段之一，这对航空发动机的选材、设计和制造提出了新的要求。目前，我国民用航空发动机研制在低成本制造技术方面的研究意识不强，基础薄弱，无论是在材料和成形工艺的选择，还是在结构件的设计，结构连接形式的选取方面，抑或是在辅助软件的应用和制造模具的选择等方面，研究重视程度不够，知识积累偏弱，导致研制的民用航空发动机价格难以满足客户预期要求。

自主研发的路径

通过分析中小型民用航空发动机的特点、发展的现状以及自主研发的难点，笔者认为，可考虑以下路径实现中小型民用航空发动机的自主研发。

构建研发体系

加强预先研究，将市场需求牵引与技术推动有机结合，建立完整的研发管理制度，形成先进的民用航空发动机研发文化，创造有效的技术创新机制，建立完备的“探索一代、预研一代、研制一代、生产一代和保障一代”的型号格局，最终建成完整的民用航空发动机研发



研发体系企业标准体系框架

体系。对于企业而言，可通过构建研发体系标准框架来逐步实现自主研发体系的建立。

提升可靠性设计与制造水平

以问题为导向，针对部分技术成熟度低、选材难、仿真协同平台不完善、试验条件欠缺和制造能力水平不高等制约民用航空发动机研制能力的突出方面，开展专项技术提升工作，提升技术成熟度，系统解决技术短板；结合专项基础研究，开展材料工程化应用研究；加强仿真计算分析软件自主研发、商用软件二次开发以及设计制造协同平台的建设；充分利用国内外资源，利用国家共享科研试验平台，为型号研制、预先研究和基础研究提供条件保障；联合产业链上游供应商和同行共同开展制造技术攻关，引入国内外先进标准，完善相关检测、试验与验证手段，提高零部件制造符合性，提升产品可靠性。

大力打造低成本设计制造理念

中小型民用航空发动机要得到市场的认可，首先要面对的就是国外同类产品的价格竞争，研发有市

场价格竞争力的产品也是实现中小型民用航空发动机研制成功的关键。因此，在研发制造的各个环节，都需要引入低成本的理念，在满足性能要求的前提下，尽可能地降低产品的成本。例如，综合考虑质量、性能等因素，基于适应材料的结构设计制造技术，合理确定研发制造的材料体系，逐步建立低成本材料选取数据库；建立工艺研究中心和试制中心，不断开展低成本工艺研究，有效降低产品的最终成本；加强仿真技术研究，不断开展结构件的优化设计，提升整体化设计能力，减少零件、紧固件和模具的数量；提升数字化设计制造能力，为产品低成本设计制造流程提供支撑及依据；加强对制造模具选型的研究。

建立适航取证的分析及验证手段

基于适航条款要求，以航空发动机取证为目标，深入开展符合性设计与验证研究；依托预研和产品型号平台，积极开展适航验证技术研究，探索虚拟仿真验证，形成取证所需的验证能力，提高适航符合

性技术成熟度。

加强与国家适航管理部门的沟通，推动适合国内适航法规的制定和修订；紧密联合国内科研院所，开展适航验证条例研究，突破国外企业、机构对关键适航试验验证技术的垄断，从制造层面着实提升民用航空产品适航验证能力，加大民用航空发动机在制造过程的适航符合性，加快民用航空发动机适航取证进度，降低取证难度和成本。

结束语

我国中小型民用航空发动机产业发展当前尚处于起步阶段，考虑我国今后对中小型民用航空发动机市场需求及技术进步的现实，进行自主研发是必由之路。重视基础体系建设、建立自主研发体系、提升可靠性设计与制造水平、大力发展低成本设计制造理念以及建立适航取证的分析及验证手段是现实自主研发的可行路径。

航空动力

（宁勇，中国航发南方，研究员级高级工程师，主要从事中小型航空发动机总体设计）