DOI 10.15302/J-SSCAE-2023.07.019

新时期我国民用航空发动机自主发展战略研究

尹泽勇[1]，秦亚欣[2*]，李建榕[2]，蔡建兵[3]，杜辉[4]，颜瑾钊[2]，朱大明[2]

（1. 中国航空发动机集团有限公司科学技术委员会，北京 100097；2. 中国航空发动机研究院，北京 101304；
3. 中国航发湖南动力机械研究所，湖南株洲 412002；4. 中国航发商用航空发动机有限责任公司，上海 200241）

摘要：民用航空发动机是现代工业的科技高地、综合国力的象征，是我国构建“双循环”新发展格局的重要装备领域；我国相关行业起步较晚，正处于加速发展的关键时期，探讨民用航空发动机自主发展战略路径对推动交通强国、制造强国、航空强国建设具有重要价值。本文着眼民用航空发动机高质量自主发展，结合实地调研及深化研讨成果，系统梳理民用航空发动机的国际发展经验，分析我国民用航空发动机发展态势，识别内外部环境变化并洞察市场需求，凝练行业发展面临的迫切问题。针对“双循环”格局下民用航空发动机自主发展的“三步走”目标，论证提出了产业发展路径，即增强国内大循环内生动力和可靠性、提升产业链供应链韧性、形成“双循环”发展格局。研究建议，统筹布局未来绿色动力研发、构建飞发协调机制、加快形成多元支持模式、加强政策引导和支持，促进民用航空发动机产业稳健发展。

关键词：民用航空发动机；双循环；科技创新；自主适航；国际合作

中图分类号：V23　　**文献标识码：**A

Independent Development Strategy of Civil Aero-Engine in China in the New Era

Yin Zeyong[1], Qin Yaxin[2*], Li Jianrong[2], Cai Jianbing[3], Du Hui[4], Yan Jinzhao[2], Zhu Daming[2]

(1. Science and Technology Committee of Aero Engine Corporation of China, Beijing 100097, China; 2. Aero Engine Academy of China, Beijing 101304, China; 3. AECC Hunan Aviation Powerplant Research Institute, Zhuzhou 412002, Hunan, China; 4. AECC Commercial Aircraft Engine Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

Abstract: Civil aero-engine is the scientific and technological highland of modern industry and a symbol of the comprehensive national strength of a country; it is also crucial for constructing a new development pattern of dual circulation in China. The development of civil aero-engine industry in China started late and now it is in a critical period of development. Therefore, it is necessary to explore a strategic path for the independent development of the industry, thereby strengthening the transportation, manufacturing, and aviation sectors of China. Through field investigation and further discussion, experiences of other countries regarding aero-engine development are summarized and development status of aero-engines in China is analyzed. Moreover, existing problems of the aero-engine industry in China are examined while considering the development situation in China and abroad and focusing on market demand. The independent development of China’s aero-engine industry can be achieved by three steps and the three-step targets can be realized by promoting scientific and technological innovation capabilities, improving the industrial and supply chains, and encouraging international cooperation. Furthermore, the following suggestions are proposed: promoting the

收稿日期：2023-01-04；**修回日期：**2023-03-10

通讯作者：*秦亚欣，中国航空发动机研究院高级工程师，研究方向为航空发动机发展战略；E-mail: 13401041640@163.com

资助项目：中国工程院咨询项目“双循环格局下我国民机动力自主发展战略研究”(2021-XZ-43),“我国航空发动机技术、产品及产业发展战略研究”(2017-ZD-11)

本刊网址：www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

research and development of green power, establishing an aircraft–engine coordination mechanism, developing a multiple support mode, and strengthening policy support and guidance.
Keywords: civil aero-engine; dual circulation; scientific and technological innovation; independent airworthiness; international cooperation

一、前言

当今世界正经历百年未有之大变局，国际格局加速演变，国际贸易摩擦不断升级，“逆全球化”风潮骤起，使得国际经济形势更为严峻。加快构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局，是国家应对百年变局、适应新发展阶段变化、推动经济高质量发展的重要部署[1]。

民用航空发动机代表着国家高端制造业的发展水平，是现代工业的科技高地、综合国力的象征。民用航空发动机是世界航空发动机产业的“支柱”产品类型，占行业总产值的70%~80%。民用航空发动机产业链长、覆盖面广，具有显著的辐射效应，对机械、仪表、电子、材料、冶金、化工等上游产业发挥带动作用，对航空运输业、通用航空业等产业起到引导作用，可以改善国民经济各部门资源配置水平并提高溢出效益。民用航空发动机高质量自主发展对促进科技进步、带动关联产业升级具有突出价值，是构建“双循环”新发展格局的重要装备领域。可以认为，没有民用航空发动机的自主发展，就没有独立、完整、强大的航空发动机产业的自主发展。

我国民用航空发动机行业整体起步较晚，近年来国家投入重大资源来推动产业链发展，自主研制的民机产品正进入发展关键期[2-6]。新的国际形势下可预见的全球产业重构，也为我国提升民用航空发动机产业竞争力提供了难得的机遇[7,8]。本文以国家构建“双循环”新发展格局为指引，聚焦民用航空发动机高质量自主发展课题，把握民用涡扇、涡轴、涡桨发动机等研究对象的基本特征，梳理行业发展环境、市场需求、技术/产品发展趋势，探讨自主发展路径及要素，以期为交通强国、制造强国、航空强国建设研究提供支持和参考。

二、民用航空发动机行业的发展形势与需求

（一）宏观形势

近年来，国际国内形势发生深刻变化。一是中美大国之间的博弈进入了新常态，国产飞机进口动力禁运风险加大，自主动力研制迫在眉睫，国家已明确要求加快长江系列发动机、大功率涡桨发动机的研制进程；二是党中央顺应时代要求提出构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局，对未来我国民用航空发动机的产业发展提供了方向性引领；三是环保要求日渐趋严，绿色低碳已成全球发展共识，我国已将其纳入生态文明建设整体布局，努力实现碳达峰、碳中和；四是地方政企对民用航空产业支持及投资力度逐渐加大，一批民营企业正积极进入该领域，竞争氛围将进一步改变民用航空发动机产业的发展空间。

历史已经证明，关键核心技术要不来、买不来、讨不来，唯有自主创新发展，把航空发动机关键核心技术掌握在自己手中，加速先进民用航空发动机产品研发。同时，着力提升产业链、供应链韧性和安全水平，进一步构建民用航空发动机双循环新发展格局，推动民用航空发动机产业快速高质量发展。

（二）市场需求

商用飞机对国产动力的需求十分迫切，在研的C919干线窄体客机和CR929宽体客机分别需要13 000千克力级和35 000千克力级的大涵道比涡扇发动机；喷气支线客机需开展7000千克力级国产动力发展论证和研制；在研的新舟700涡桨支线飞机动力亟需研制4000千瓦级涡桨发动机；未来先进涡桨支线客机、中型货运飞机等平台对5000千瓦级AEP500涡桨发动机提出了加速研制的需求。

随着我国低空空域改革取得突破，我国通航市场将迎来爆发，预计未来二十年，国内通航用燃气涡轮发动机（含涡轴、涡桨和涡扇）总需求量将达到近13 000台，总价值将达1300亿元。1000千瓦级先进民用涡轴发动机AES100将为“彩虹”大型倾转旋翼无人机提供动力；国产AG600水陆两栖飞机要求对涡桨-6发动机进行改进，满足海上使用要求；AC352直升机即将进入市场，需要加快涡轴-16等发动机产业化发展。同时，随着航空工业集团等

单位民用直升机、无人机的论证和实施，需要加快对应国产通航动力的论证、研制和市场投入进程。

（三）未来应用的新需求

随着“碳达峰、碳中和”等环保要求的落实，未来碳排放成本必将成为航空公司发动机选型的重要因素，倒逼航空动力制造业加快技术创新步伐，采取有力手段降低发动机的碳排放量。目前，技术创新方向正在从通过提高燃油效率减少碳排放的渐进式改革向开发新的低碳推进技术与新燃料的革命性变革转变，以期从根本上解决碳排放问题。其中，可持续航空燃料（SAF）、新型混合动力推进技术、氢动力技术等已成为最具代表性的颠覆性技术。

预计窄体客机的新型动力如开式转子发动机将于2035年面世；多电发动机技术、混合电推进技术、氢燃料电池技术预计于2025年后逐渐在城市空中运输和通用飞机上得到商业应用。

三、民用航空发动机的国际发展经验

以美国、英国、法国为代表，工业强国具有全谱系航空发动机独立研制能力，能够独立研究和发展一流水平的军用航空发动机；在民用航空发动机市场形成了垄断地位，在世界航空发动机产业链中占据着主导地位。相关国家及优势企业在民用航空发动机研发、生产制造、产业安全、服务保障等方面具有特色。

（一）把控核心关键业务

主制造商是整个民用航空发动机产业中的龙头，是承担项目风险和收益较大的企业[9,10]。他们掌握着世界顶尖的民用航空发动机研发技术，具有研制和组织生产发动机整机产品的能力。在市场经济专业化分工格局下，主制造商负责发动机的市场开发、设计、关键制造、总装、适航取证、销售以及售后服务，并对产业全环节全过程进行把控。面对日益激烈的市场竞争，民用航空发动机主制造商不断发展精进自己的核心能力，牢牢把握研究研制等关键环节，从而保持产品的市场竞争力，创造赢得更多市场份额和项目的机会。通用电气公司（GE）与普惠公司（PW）一直积极参与美国航空航天局（NASA）发起的各项先进航空发动机重大研究计划，依靠政府支持，不断提升产品研发和技术创新能力。同时，主制造商把控涡轮叶片等核心零部件的研制，从而保证自身的核心竞争力优势。

（二）聚焦研发核心产品

各大航空发动机企业在业务上都并非全面布局，而是有各自的核心产品和主攻市场。根据自身的能力水平和市场容量选择适当的时机研制换代产品，并根据市场预期和竞争态势单独研发或选择适宜的合作对象和合作模式，从而不断补充或扩大自身的业务份额。分析GE公司从弱到强、从跟随到引领行业发展的经验：一是基于对市场的精准把握，采取务实且先进的产品开发策略，始终以产品优异的性能取胜；二是充分继承和利用其军机的技术成果，降低产品研制的成本和风险，同时保证产品的技术优势；三是重视先进核心机技术，以此为基础系列化发展或派生发展产品谱系，从而快速占领民机市场。GE公司（含法国斯奈克玛公司）在窄体客机发动机市场占据70.9%的份额，在宽体客机发动机市场占据53.7%的份额，优势地位明显。

（三）保证产业安全稳定

在开放合作的同时，美国、英国、法国等国家都在国内建设了一条甚至多条完整的民用航空发动机产业链，能够覆盖研发设计、关键部件制造、整机装配、运营、维护的各个环节。立足本国建立产业链并把握产业链上的关键核心环节，有利于降低供应风险，提升产业链供应链对政治环境、经济环境的抗风险能力，保证其安全与稳定。在空间上，多国都以主制造商为核心，辐射形成了民用航空发动机特色产业集群[11]。在国际新形势下，当前航空发动机产业链也显露出内向化的回归趋势。

（四）深耕维修服务市场

在航空发动机经济全寿命周期内，客户花费的维护费用占总费用的45%~50%，与采购费用相当，是发动机公司重要的利润来源。罗尔斯–罗伊斯公司通过其服务中心或子公司提供客户服务[12]，采用地区化经营管理方式，形成了覆盖全球的区域化服务网络，曾推出全面维护和机队维护两种服务模式。GE客服体系的运作模式是在集团下设置独立

核算的业务单元，并在此业务单元之下构建全球的服务网络。GE航空在2005年推出了“正好”（On Point）服务方案，客户可以按照飞行小时或者飞行循环付费，也可以固定维修价格或者以固定的工时价格等方式进行返厂维修，并采取多种灵活的支付方式。普惠公司将自己定位为主承制维修商（OEMRO，主制造商（OEM）+维修商（MRO）），强调其同时具有主制造商的品质和维修业务服务商的灵活性，面向全球客户推出了全球服务伙伴（GSP）和全球航材解决方案（GMS）两项发动机维修服务业务。法国斯奈克玛发动机服务公司（SNECMA）的商用发动机服务部，负责所有CFM56、GE90和GP7200发动机的维修工作。

四、我国民用航空发动机行业的发展现状与面临问题

（一）行业发展现状

1. 技术提升和产品研制进展顺利

在国家重大科技专项支持下，航空发动机关键技术能力提升进展顺利，产品研制取得重大突破。商用的长江系列发动机是典型的大涵道比涡扇发动机，具有低燃油消耗、低排放、低噪声、高可靠性、长使用寿命、低维护成本的特点，其中CJ-1000A能够满足单通道飞机对动力的需求，CJ-2000A能够满足双通道飞机对动力的需求。AEP500是整机性能达到国际先进水平的民用大功率涡桨发动机，可以满足未来民用先进涡桨支线客机以及中型货运飞机等平台对动力装置的需求。AES100涡轴发动机具有高效率、低油耗、长寿命、高可靠性、大功率储备等特点，能满足5到6吨级双发直升机和3到4吨级单发直升机的动力需求，突破了高效率压气机和涡轮部件先进气动叶型、高品质燃烧室温度场控制、适航等关键技术。在新构型民用航空发动机方面，针对混合电推进系统开展了基于飞机辅助动力装置或涡轴发动机的燃气涡轮/发电机混电动力布局及氢燃料涡轮机动力的研究工作。

2. 产业能力和适航能力逐步增强

国内民用航空发动机整机研制生产单位主要集中在中国航空发动机集团，负责民用涡扇发动机、涡轴发动机、涡桨发动机和辅助动力装置的研制生产，自主研发能力也在稳步提升。逐步建立和完善了“主制造商–供应商”模式，初步建立了供应商管控体系，形成了市场化的原材料、成附件及部分零组件供应链。近几年，随着国内通用航空产业的兴起，中国科学院工程热物理研究所、中国航天科工集团三十一研究所，以及很多民营企业也加入到通用航空动力研发的行列中。

对等国际合作的涡轴-16发动机取得了中国民用航空局（CAAC）型号合格证，是国内首个严格按照最新适航规章要求完成符合性验证的民用航空发动机型号，为国内其他航空产品适航取证工作积累了宝贵的经验。AES100涡轴发动机已经进入适航验证工作，填补了吞冰、防火等适航符合性验证技术的多项空白，建立和完善了适航体系。以AES100涡轴发动机为基础衍生的涡桨、涡扇发动机，地面燃机和混合动力系统正在同步发展，将形成家族化、系列化融合发展的良好局面，促进我国民用航空发动机产业化发展。

（二）面临的问题

1. 产业体系尚未完全构建

国内目前尚无一型完全自主研制的民用航空发动机走完基础研究、关键技术研究、核心机/整机技术验证、工程研制、适航取证、市场使用及服务保障的全过程，民用航空发动机产业体系尚未完全构建，高效设计制造协同需进一步加强，部分试验设施仍需建设和补充，供应链管理能力需加强，服务保障能力有待建立。

2. 产品市场竞争能力不强

产品参与市场竞争的能力不强，对标国际一流，高可靠性、长寿命、低成本、维护性好、结构简单、重量轻等市场竞争关键要求还未在所有产品研发过程中全面有效贯彻，市场研究和产品营销缺乏专业化队伍，市场开拓力度不够，全面实现国际市场同台竞技和国内国际市场商业成功还有较大差距。

3. 工业软件、基础元器件等对外依存度高

先进航空发动机研制所需的高性能材料、高精度轴承、高性能元器件、高精度机床、工业软件等基础薄弱，国产化率低，对外依存度高。特别是航空发动机成附件领域，国内研发能力与适航要求差距较大，已逐渐成为制约民机适航取证的关键因素[13]。

4. 供应链管理存在较多薄弱环节

我国民用航空发动机供应链管理还处于起步阶段，存在较多薄弱环节和管理漏洞。一是供应链管理体系不健全，管理架构、流程、制度和方法尚未健全；二是供应商管理不到位，实力强、专业化程度高的供应商资源严重缺乏，供应商“散、弱”现象明显；三是供应链尚不完整可靠。有些核心、关键器材还没实现完全自主，断供、迟供现象仍时有发生。

五、我国民用航空发动机自主发展路径

我国民用航空发动机行业的发展需以支撑交通强国、制造强国、航空强国建设为牵引，把握构建“双循环”新发展格局的内涵，强化科技创新能力，提升产业链、供应链的现代化水平；利用国内国际两个市场，构建自主创新、国际先进的航空发动机产业体系，按照畅通国内循环、拓展国际循环的方式，分阶段构建民用航空发动机自主发展新格局。为了实现核心技术掌控、产品谱系合理、市场规模初具、产业体系健全的民用航空发动机自主发展目标，可采取“三步走”：① 2025 年前，畅通国内循环，在通航动力方面率先突破；② 2030 年前，由内向外推进，开拓“一带一路”市场；③ 2035 年前，内外循环互促，深度参与全球市场。上述发展目标的实现，依赖科学的发展路径。

（一）增强国内大循环内生动力和可靠性

1. 面向未来开展前沿技术探索

把握未来民用航空动力绿色、高效、安全、智慧的发展趋势，布局混合电推进系统、齿轮传动发动机、氢能源动力、超声速及高超声速动力、桨扇发动机等先期技术开发。同步筹划相应技术验证平台，开展部件级、整机级集成验证，加快推进技术成熟。

2. 突破关键技术加速研制进程

以重点项目和重点产品为牵引，突破制约我国民用航空发动机发展的技术瓶颈，提前策划并系统解决工程研制项目实施过程中将面临的关键技术难点和研发能力短板，掌握民用航空发动机核心关键技术，加快实现民用航空发动机自主保障。

在商用航空动力领域，加快推进 CJ-1000、CJ-2000 及 500 千瓦级辅助动力装置研制，力争早日配装国产大飞机运营。在通用航空动力领域，加快推进 200 千瓦级涡轴发动机及 1000 千瓦级民用涡轴发动机研制，并基于先进核心机派生发展，分别满足 3 到 5 吨级单发通用飞机、8 吨级双发多用途飞机和大吨位无人货运飞机，以及 5 吨级轻型公务机和中高空无人机动力需求。

3. 加强市场研究与营销能力

将市场研究及营销工作融入主线，以科学、高效、适用为原则，按照“急用先行”方式，分步建立贯穿产品全生命周期，完整涵盖市场研究、市场推广、客户关系和产品与服务销售的市场营销体系。

4. 形成自主适航能力

在产品研制全寿命周期树立并保持适航观，构建功能完整、要素齐全、逻辑清晰、架构合理的设计保证系统和制造保证系统，强化适航验证能力。完善适航审定体系、适航审定能力和适航审定队伍建设，构建并不断完善统一完整的民用航空飞行验证管理体系，补齐飞行验证短板，实现与航空制造业深度融合发展。

（二）提升产业链供应链韧性

1. 筑牢主制造商核心竞争力

遵循民用航空发动机研制和运行的内在规律，加快体制机制创新，依托国有企业多年技术及能力基础，建立起适应民用航空发动机特点的研发生产流程和运行机制，以与国际先进企业同台竞技为目标，优化聚焦核心业务，夯实主制造商核心竞争力。

2. 推动供应链补链强链

持续构建“小核心、大协作、专业化、开放型”的民用航空发动机科研生产体系，不断优化产业链结构，提升产业链价值。汇聚全创新链和全产业链的力量解决“卡脖子”问题，围绕产业链部署创新链，围绕创新链布局产业链，产生协同效应。

3. 加速产业集群形成与发展

结合国家区域重大战略、区域协调发展战略，依托高质量发展区域的资源禀赋和民用航空发动机产业基础，培育一批能够持续稳定合作的民用航空发动机战略供应商，并逐步发展为风险共担、利益共享的战略合作伙伴，加快推进产业集聚和发展，进一步建设现代化产业体系。

4. 培育和激发人才队伍活力

当前国内航空发动机研发队伍还存在较大的技术人才缺口，通过型号项目的自主培养和海外人才引进并举，形成一支技术过硬、思想过硬的行业领军人才及各层次人才队伍。

（三）形成双循环发展格局

1. 开展多种形式的国际合作

坚持合作共赢的原则，根据不同类型民用航空动力的不同发展基础，有区别地开展技术合作与交流、产品研制和产业化合作；创新合作形式、密切伙伴关系，打造“你中有我、我中有你”的深度合作模式，汇聚全球优质资源，为提升民用航空发动机产品的国际竞争力提供有力支撑。

2. 开拓海外市场

立足产业发展的需求，分步推进海外研发、生产、服务能力建设。积极开拓民用航空发动机海外市场，基于产品特性，分析、定位细分市场，充分考虑区域文化、客户偏好等制定差异化产品营销策略。推动先进国产民用航空发动机先在国内市场应用，积累使用经验，建立“安全、可靠、耐用、经济”的国产航空发动机品牌，并适时将有竞争力的产品推向“一带一路”国家及欧洲国际市场。

六、发展建议

（一）统筹布局未来绿色动力研发

全力践行国家“双碳”战略，抢占未来国际先进民用航空动力市场先机，统筹实施绿色航空动力发展重大科技专项。成立专门领导小组、论证专家组，制定实施方案，布局未来绿色航空动力设计技术、制造技术、材料技术、试验技术的发展重点及发展路线，加快推进未来绿色动力研发工作，使我国在航空动力装备绿色发展领域抢占未来科技制高点，实现从“跟跑”到“领跑”的转变。

（二）构建飞发协调机制

民用航空发动机和飞机一体化协同发展，有利于集成资源、相互促进、共同发展，是突破战略瓶颈、实现自主创新、增强国家民用航空产品实力及竞争力的重大战略措施。建议充分发挥新型举国体制优势，飞机方与发动机方共同成立联合工作组，同心同力、协调规划，实现市场需求、方案分析、技术开发、产品研制、使用与保障等各阶段全流程一体化发展，为双循环格局下航空产业自主发展保驾护航。

（三）加快形成多元支持模式

充分利用中央财政现有的资金渠道统筹支持民用航空发动机技术创新发展，建立经费保障长效机制，强化资金绩效管理，提高资金使用效能。对于有意愿且有能力的企业自主发展性能先进、经济性好的先进民用航空发动机产品，在确有自主知识产权和国际市场竞争力的前提下，采取适当后补助方式予以支持。发挥政府投资基金作用，吸引地方、社会资本及力量等参与先进民用航空发动机产业链建设，优先支持符合条件的民用航空发动机企业通过资本市场融资。鼓励地方出台配套政策，引导、要求企业采购国产发动机和应用国产材料及成附件。

（四）加强政策引导和支持

支持相关地区制定民用航空产业建设相关政策，优先保障民用航空发动机重点企业、重大项目的工业用地和总部用地，加快人才配套住房建设。鼓励民用航空发动机产业链上相关企业申报国家专项，支持配套企业联合主制造商开展产品研发攻关，合力推进科技企业加快科创板等资本市场上市步伐。加快研究通用航空发展政策，有序推进低空空域资源安全高效利用。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: January 4, 2023; **Revised date:** March 10, 2023

Corresponding author: Qin Yaxin is a senior engineer from the Aero Engine Academy of China. Her major research field is aero-engine development strategy. E-mail: 13401041640@163.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering projects “Research on the Independent Development Strategy of Civil Aero Engine under Dual Circulation Pattern” (2021-XZ-43) and “Research on the Development Strategy of China’s Aero Engine Technology, Products and Industries” (2017-ZD-11)

参考文献

[1] 新华网. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要 [EB/OL].(2021-03-13)[2023-01-04].

http://www.xinhuanet.com/2021-03/13/c_1127205564.htm.
Xinhua Net. Outline of the 14th Five-Year Plan for national economic and social development of the People's Republic of China and the vision for 2035 [EB/OL]. (2021-03-13)[2023-01-04]. http://www.xinhuanet.com/2021-03/13/c_ 1127205564.htm.

[2] 龚海平. 中国航发全面推进民用航空发动机项目研制 [J]. 航空动力, 2018 (4): 6.
Gong H P. AECC pushing on the development of civil aero engines [J]. Aerospace Power, 2018 (4): 6.

[3] 温泉, 宋双文, 吴吉昌 . AEP500: 填补 5000 kW 级涡桨发动机空白 [J]. 航空动力, 2018 (4): 10–11.
Wen Q, Song S W, Wu J C. AEP500 turboprop [J]. Aerospace Power, 2018 (4): 10–11.

[4] 李概奇, 杨锐, 王旭, 等. 奋进中的 AES100 先进民用涡轴发动机 [J]. 航空动力, 2022 (5): 20–22.
Li G Q, Yang R, Wang X, et al. AES100 advanced civil turboshaft engine in progress [J]. Aerospace Power, 2022 (5): 20–22.

[5] 金伟. 探究民用航空发动机创新与开放发展之道 [J]. 航空动力, 2019 (4): 6–10.
Jin W. Exploring the way of innovation and opening development of civil aero engine [J]. Aerospace Power, 2019 (4): 6–10.

[6] 蔡建兵. 我国通用航空发动机发展思考 [J]. 航空动力, 2019 (6): 12–16.
Cai J B. Consideration on the development of general aviation engine in China [J]. Aerospace Power, 2019 (6): 12–16.

[7] 向巧, 黄劲东, 胡晓煜, 等. 航空动力强国发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(2): 106–112.
Xiang Q, Huang J D, Hu X Y, et al. Research on aero engine empower development strategy [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(2): 106–112.

[8] 秦亚欣. 航空发动机军民融合发展 [J]. 航空动力, 2021 (4): 67–69.
Qin Y X. Research on civil-military integrated development of aero engine [J]. Aerospace Power, 2021 (4): 67–69.

[9] 何龙江, 弓升. 世界三大航空发动机制造商民用航空发动机发展布局研究 [J]. 航空动力, 2020 (5): 8–12.
He L J, Gong S. Research on the development of civil aero engines of the big three [J]. Aerospace Power, 2020 (5): 8–12.

[10] 刘子娟, 霍常青, 夏商周, 等. 我国民用直升机发动机市场分析 [J]. 航空动力, 2018 (5): 40–43.
Liu Z J, Huo C Q, Xia S Z, et al. Analysis of China's civil helicopter engines market [J]. Aerospace Power, 2018 (5): 40–43.

[11] 习文静. 以产业金融助推中小型航空发动机产业集群培育发展 [J]. 航空动力, 2022 (3): 53–57.
Xi W J. Promoting industrial clusters of small and medium-size engines with industrial finance [J]. Aerospace Power, 2022 (3): 53–57.

[12] 王翔宇. 民用航空发动机维修市场特点探析 [J]. 航空动力, 2018 (3): 59–62.
Wang X Y. Analysis of commerical aero engine MRO market [J]. Aerospace Power, 2018 (3): 59–62.

[13] 尹泽勇, 丁水汀, 李果, 等. 航空发动机下一代适航规章制定策略和技术路径 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(4): 230–239.
Yin Z Y, Ding S T, Li G, et al. Formulating strategy and technology path for next generation airworthiness regulations of aeroengines [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(4): 230–239.