

# 航空动力强国发展战略研究

向巧<sup>1</sup>, 黄劲东<sup>2</sup>, 胡晓煜<sup>1</sup>, 晏武英<sup>2\*</sup>, 侯薇<sup>2</sup>

(1. 中国航空发动机集团有限公司, 北京 100097; 2. 中国航空发动机研究院, 北京 101304)

**摘要:** 航空动力是航空器的“心脏”，发展水平反映了国家综合国力、工业基础和科技水平；开展航空动力强国发展战略研究对实施科技强国、制造强国战略，推动我国制造业高质量发展具有重要意义。本文从推动强国建设、保障绿色发展、实现创新驱动发展的角度系统研判了航空动力发展的重大价值，凝练总结了航空动力发达国家的发展经验。在概括我国航空动力行业发展态势的基础上，剖析行业发展面临的急迫问题，据此提出建设航空动力强国的内涵、目标，重点从先进产品研制、重大基础设施、共性关键技术、基础技术研究等方面阐述行业具体发展途径。研究提出了健全政策法规体系、深化行业体制改革、优化行业运行机制、完善人才培养体系等建议，以此推动我国航空动力领域高质量发展。

**关键词:** 航空动力；动力强国；强国战略；装备制造

**中图分类号:** V23      **文献标识码:** A

## Research on Aero Engine Empower Development Strategy

Xiang Qiao<sup>1</sup>, Huang Jindong<sup>2</sup>, Hu Xiaoyu<sup>1</sup>, Yan Wuying<sup>2\*</sup>, Hou Wei<sup>2</sup>

(1. Aero Engine Corporation of China, Beijing 100097, China; 2. AERO Engine Academy of China, Beijing 101304, China)

**Abstract:** Aero engine is crucial for aircraft and its development level reflects a country's comprehensive strength, industrial base, and scientific and technological level. Studying strategies for strengthening the aero engine development in China is significant for technological innovation and high-quality development of China's manufacturing industry. In this study, we explore the significance for strengthening the aero engine development from the aspects of promoting national competitiveness, green development, and innovation-driven development, and summarize the experience of developed countries in aero engine development. Subsequently, we summarize the development status of China's aero engine industry, analyze the challenges urgently faced by the industry, and propose the connotation, objectives, and specific development path of the strategy in terms of advanced products, major infrastructure, common key technologies, and basic research. Furthermore, we propose the following suggestions to promote the high-quality development of China's aero engine industry: improving the policy and regulation systems, deepening industry system reforms, optimizing the industry operation mechanism, and improving the talents training system.

**Keywords:** aero engine; engine development; power strengthening; equipment manufacturing

**收稿日期:** 2022-01-18; **修回日期:** 2022-03-01

**通讯作者:** \*晏武英, 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: 76837108@qq.com

**资助项目:** 中国工程院咨询项目“动力强国发展战略研究”(2020-XZ-26)

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

## 一、前言

作为各类航空器的能量与动力来源，航空动力普遍具有投入多、难度大、风险高、周期长的特点，是多学科交叉、多领域融合的复杂大系统，已成为各国制造业和科技发展水平的重要标志 [1,2]。在新工业革命的背景下，世界航空动力强国已制定实施相应的战略规划和产业政策，将航空动力发展作为国家战略，优先发展、高度垄断、严格对外封锁 [3~5]。面对复杂严峻的国内外形势，我国有必要从国家战略高度综合研判航空动力领域发展的重大价值和国际经验，深入剖析行业发展态势和面临的急迫问题，科学制定面向 2035 年和 2050 年的航空动力强国发展战略，全面提升科技创新能力与核心竞争力，支撑先进航空装备更新换代，促进产业不断优化升级，推动我国航空动力行业优质快速发展。

## 二、航空动力发展的重要价值

### (一) 推动强国建设的基础内容

航空动力是航空器的“心脏”，其发展对研发能力、资源需求、组织管理均有很高要求，一直被视为国家工业基础和综合科技水平的体现 [6]。国家“十四五”规划提出，建设“科技强国”“制造强国”“质量强国”“交通强国”，提升制造业核心竞争力，壮大战略性新兴产业 [7]。航空动力产业与这些规划内容密切相关，面临着高质量发展的迫切要求。加快航空动力领域技术和产业发展，将促进国家整体工业水平显著提升，带动科技创新事业跨越发展。

我国在装备制造业和基础设施建设方面取得了突出进展，但航空动力领域距离世界先进水平仍有不小差距，尚无法完全满足先进装备发展需求，部分产品和零部件仍然需要进口或引进国外技术；制造过程中的高效化、精细化、智能化水平也落后于其他高科技行业，成为制造业高质量发展的重点瓶颈之一 [8]。因此，实施航空动力强国发展战略，将对强国建设构成坚实支撑，有助于提升国家工业基础能力、支撑国防装备建设、促进经济社会发展。

### (二) 保障绿色发展的先导力量

交通运输、国防装备所使用的各类航空器，广泛使用燃气涡轮发动机、内燃机等热力机械以及各类型发动机通过组合、联合、混合而构成的复合动力装置。历经百年发展，传统的航空动力机械已相对成熟且热效率得到极大提升，但始终是温室气体排放的主要来源之一，成为节能减排的重要方面。

可持续发展是全球性议题，绿色低碳成为未来潮流。我国提出了 2030 年碳达峰、2060 年碳中和的发展目标，绿色发展列入国家规划，这都要求积极推进能源革命，加快发展方式的绿色转型。以可持续燃料、电动、混动等为代表的新能源航空动力正在兴起并加快推进产业化应用；传统的航空热力机械在继续提升效率的同时，通过努力降低排放水平并积极与新能源“牵手”，以混合动力的方式发挥增量优势，支持实现绿色发展。

### (三) 实现创新驱动发展的重要领域

航空动力作为航空器机动能力及能量的来源，多学科交叉、多行业协同特征明显，工作条件苛刻（高温、高压、高转速），工作环境复杂，自身性能及可靠性指标严格；与几乎所有的工业技术发展密切相关，对先进设计、材料、制造、试验技术的要求极高。因此，航空动力是表征国家科技创新实力的重要方面、践行创新驱动发展的关键环节。一流的航空动力制造业能够在国家工业基础能力提升、科技进步方面发挥突出性的带动作用，因而加快航空动力领域技术发展是提升国家整体工业基础及能力的重要途径 [9]。

坚持创新驱动发展、完善国家科技治理体系已纳入国家规划。我国航空动力从引进仿制逐步过渡到自主发展，但因工业化起步较晚而长期成为制约航空产业自主创新发展的瓶颈；需要加速本领域技术体系发展，尽快升级航空器和动力装备水平，进一步引领并带动国家科技创新与工业基础能力提升。航空动力强国建设需要技术进步、管理提升的协同推动，在加强基础研究、核心关键技术攻关的同时，建立应用深度融合、行业高效协同的发展机制，充分发挥高端复杂技术的溢出与辐射作用，加速诸多类型装备研制和产业化升级。

### 三、航空动力产业的国际发展经验

#### (一) 国家层面高度重视，坚持自主创新发展

目前，仅有美国、俄罗斯、英国、法国等少数国家能够独立研制高水平的军/民用航空发动机，占据了世界航空动力产业链中的主导地位；相应地，国际航空动力市场处于少数国家垄断的状态。航空动力产品技术密集度高、应用融合性强、产业带动面宽，兼具经济价值和军事价值。航空动力发达国家长期以来一直将航空动力产业作为国家高技术战略产业进行扶持，将燃气涡轮发动机等动力装备视为保持国际竞争力的代表性产品。英国作为燃气涡轮发动机技术的发源地，始终坚持航空动力产业的独立自主发展；在组建空中客车公司的过程中，可以放弃客机整机而牢牢掌握航空发动机的研制，甚至立法限制航空发动机企业的股权对外转让。美国一直将航空航天动力技术视为国家、国防关键技术，持续通过国家级技术计划保持领先优势，同时以市场化形式驱动航空动力产业竞争力提升 [10]。

#### (二) 科研及管理体系完善，基础设施能力充足

航空动力发达国家建立起了完善的航空动力科研体系，形成了符合航空动力产品发展规律的管理体系，为产品研制、产业发展筑牢了基础。这一体系的突出特点表现在“政企学”的合理分工与高效协同：除了从事航空发动机研制生产的企业外，公立科研机构主要从事各应用领域航空动力产品的发展规划研究，代表官方进行试验鉴定；高校积极承担基础研究及专业人才培养工作。以美国为例，在航空动力的主要应用领域均由政府或军方管理部门（如国家航空航天局、国防高级研究计划局）负责制定发展指导政策；美国科学研究院定期发布航空动力领域技术报告，预测未来发展形势、市场及技术趋势；空军研究实验室、阿诺德工程发展中心等军方科研部门也深度参与相关产品的研制过程。此外，这些管理机构下辖了航空动力科研力量，建成了集约化的大型科研基础设施，为参与航空动力技术研发及产品研制的企业、高校、专业机构提供综合试验能力，代表官方履行试验鉴定任务。这类大型基础科研设施建设周期长、投资规模大，由政府

建设并主导运行的方式提高了利用效率、降低了企业负担，保障了本国航空动力行业的高效运转和市场竞争力的提升。

#### (三) 注重技术创新，形成市场驱动的良好循环

航空动力发达国家积极采取技术创新引领产业发展的模式，在基础研究、应用研究方向稳定投入资源并实施倾斜性政策 [11]，驱动基础性、前沿性、创新性航空动力技术演进成熟；优化资源分布并合理集中资源，保持航空动力技术人才队伍规模，注重技术成果转化，保障企业研发投入积极性 [12]。企业的研发资源投入围绕航空动力产品研制展开，以先进航空动力产品稳定占据市场份额为目标，保持可持续发展能力。政府动用公共资源投入航空动力基础研究，不是为了直接创造具有商业化潜力的航空动力新技术，而是促进企业尽量得益于科学源泉和溢出技术，进而开展自主投资并参与市场竞争。发展实践表明，参与市场竞争并获得相对竞争优势的企业，必然在航空动力领域拥有先进技术及产品；围绕自身发展需求，以自主创新为主要形式，利用自有资源进行通用性与专有性兼具的研究布局；牵引企业外部科研力量，结合有效需求开展定向研发配套，从而实现企业技术与产品供应链的可持续发展。

#### (四) 鼓励产业合作，分享产业发展利益

航空动力发达国家在组织企业参与国际市场竞争的过程中，注重根据国家战略需要和经济发展需求，积极推动利益相关国家和企业开展航空动力产业链合作。采取“政府引导、企业实施”方式，实现各自资源的优势互补，共同开拓市场并降低运营风险，由此增强本国产业实力和创新能力；共同构筑航空动力技术壁垒，保障自身核心利益，阻止产业“后来者”进入，延续高端航空动力市场的垄断地位。美国向英国、欧盟、日本等国家和地区开放先进航空动力产品研制项目，如采购英国企业研制的军用航空、舰船用发动机，允许英国企业参与新一代战斗机的发动机研制，与法国企业合资成立航空发动机公司，吸纳德国、日本企业参与先进民用发动机研制等。法国在与美国企业联合研制单通道客机发动机的同时，与俄罗斯企业联合研制支线客机发动机，与英国、德国企业联合研制直升机发动

机。英国保持独立研制大推力民用涡扇发动机的能力,也与欧洲其他国家联合研制多型军用航空发动机。近年来,航空动力发达国家通过提升航空动力碳排放门槛值等手段,压制市场“后发者”的发展势头;加快发展电动化、氢燃料等新概念动力技术,以技术创新来提升航空动力产业门槛。

## 四、我国航空动力行业发展态势及面临的问题

### (一) 我国航空动力发展现状

数十年来,我国航空动力行业历经“构建基本能力、初步军民结合、逐步完善提高、探索开放协作”等发展阶段,目前已取得长足进步,基本建立了配套齐全的工业体系,为国防安全和经济建设提供了重要支撑。在前期,航空发动机因长期处于测绘仿制过程,技术研发水平相对落后;近年来,得益于国家支持和市场发展,航空动力研发体系能力获得快速提升。

在基础研究和技术研发方面,突破了航空发动机多项核心技术,基本构建了具有自主知识产权的技术体系,通过持续推进成果应用来促进航空发动机重点产品的科研生产及质量提升。在产品研制方面,先进民用涡轴发动机、大型客机发动机研制取得重大进展,大功率涡桨发动机、宽体客机发动机的关键技术得到验证,为传统产品升级确立技术基础;中小型涡喷/涡扇发动机、活塞发动机研制也取得积极进展。高校、科研院所、民营企业广泛参与航空发动机的研制配套,为我国航空动力产品谱系提供了必要补充[13]。

截至目前,我国航空动力行业共生产航空发动机超过 $7 \times 10^4$ 台,基本保障了各类装备制造与使用的需求;建立了较为完整的航空发动机产业体系,形成了规模适中、结构合理的专业技术队伍;具备了高性能军用航空发动机的研制保障能力,实现了先进民用航空发动机的适航取证;材料、工艺、制造装备、试验设施等基础能力建设取得显著进步[1]。

### (二) 我国航空动力发展面临的问题

国产航空发动机的先进性、可靠性、产能等尚无法完全保障先进航空器的需求;产业化水平不高、制造能力不强,精准、高效、稳定的综合生产

体系有待构建,在全球航空动力产业链中仍处于初级零部件供应商层次;民用维修市场仍以外资企业为主,无法形成完整的自主产业链;航空发动机配套方面的工业基础能力不足,部分设备、基础元器件与国际先进水平仍存在差距,无法充分保障先进航空发动机的自主研制、生产、维护[14]。

我国航空发动机科研体系不能匹配先进技术和产品研发需求,基础研究积累、成熟技术储备、产品研制规划之间存在错位或失配;依然缺乏完整的民用航空发动机自主研制经验,先进民用航空发动机的研制立项及市场开拓困难重重。领域技术创新及试验能力有所欠缺,技术储备相对薄弱,先进产品研制因瓶颈技术制约而使进度滞后;大型试验设备的数量和能力相比国际主流存在差距,部分特种试验设施仍属空白,现有及规划中的试验设备数量、规模以及测试范围、数据处理能力难以满足先进航空发动机技术验证和产品研制的需要。

我国尚未明确统筹管理航空动力发展的主管部门,现行政策法规不能全面保障航空动力行业的持续发展且航空产业立法尚属空白。政策和资源的长期连续支持存在不确定性,可能制约航空动力行业稳健发展,不利于充分发挥航空动力对基础工业的技术牵引与产业辐射作用。航空动力领域的知识产权保护、成果转化机制尚不健全,制约了科技成果共享和拓展应用,不利于行业效益优化。

在专业技术人才方面,我国航空动力行业的高层次领军人才数量明显不足,加之中青年人才梯队建设不够扎实,影响了领域技术攻关与自主创新能力;相应的综合评价与合理激励机制有待健全。

## 五、实施航空动力强国建设的内涵、目标与途径

### (一) 航空动力强国建设的内涵

航空动力强国指我国航空动力行业在经济社会发展、国防装备建设中发挥新兴产业支柱与战略性保障作用,引领航空动力科技发展和航空产业发展方向,具备完善的自主创新能力、可靠的自我循环能力、一流的国际竞争力、与国家综合实力相称的世界影响力。

航空动力强国的核心在于提供高度自主保障、满足经济与国防建设需要的现代化航空动力产品，支撑国家诸多领域全面发展。航空动力强国的支柱是航空动力产业的创新发展能力，具体表现为基础坚实、结构完善、调控有序、协同高效、配套完备的航空动力技术体系及产业链条，带动关联行业发展，辐射相关基础学科，促进工程技术进步。航空动力强国的基础在于：涵盖基础研究、预先研究、产品研制、制造生产、服务保障等全生命周期，能力协调匹配的航空动力工业体系；国家战略引领、“产学研”协同发展、应用深度融合、技术创新与管理创新协调的航空动力行业体制及机制；国际一流的专业技术人才队伍；保障行业可持续发展的法律规章与配套政策。

### （二）航空动力强国建设的目标

到 2035 年，建立完善的航空动力研发体系，技术创新、产品研制、生产能力显著提升，重点产品性能达到国际先进水平，民用航空发动机获得国际市场准入并投入批量使用，跻身航空动力先进国家行列。

到 2050 年，建立高水平的航空动力研发体系，技术创新、产品研制、生产能力进入世界前列，产品体系全面满足航空器装备及航空运输需求，在世界航空发动机市场具有强竞争力，跻身航空动力强国行列。

### （三）航空动力强国建设的途径

#### 1. 加快先进产品研制

适度超前布局航空动力领域重点产品，优先发展高性能、高可靠、低成本、低排放的先进航空发动机。推动各类型航空动力产品的融合发展，整合各自技术优势，研制组合 / 联合 / 混合动力，拓展航空动力产品应用范围。

按照产品全生命周期低碳管理理念，推动航空动力产业绿色发展。实施节能减排技术创新，推广低碳、生物质、可再生合成燃料的应用。逐步普及绿色智能制造工艺和再制造，实现产品制造绿色发展。

建设具有自主知识产权，运用系统工程理论，适应高技术复杂度、高系统集成性、全流程需求管理要求的航空动力产品研发体系，显著提升先进技

术验证及产品研发方案优化的速度。应对未来市场需求，适时整合产品类型、优化产品结构，将产品体系向中高端拓展。

#### 2. 健全重大基础设施

建设重大试验设施和关键设备。重点发展飞行试验台、高空模拟试验台等大型基础设施，非接触、非干涉测试以及微型化、智能化测试等先进试验测试技术。系统规划能力条件建设，提高重大基础设施及关键设备的自主保障水平，充分支撑技术研究 / 验证、产品研制的需要。

针对航空动力行业应用特征，建设以万兆网络能力为核心的基础环境，配套完成万兆信息安全产品的升级拓展；具备高性能计算及图形显示条件，拓展存储备份、数据容灾、多项目协同信息管理等能力。完善信息安全体系，拓展信息集成与共享系统，实现跨单位多学科的协同设计、联合验证；构建三维设计、生产制造一体化链路，形成关键工序柔性化制造的信息化保障条件。

筑牢航空动力产品全生命周期保障能力，建立完备的交付、维修保障系统；不断优化航空动力产品使用及维修的效率，实现标准化、规范化的维修体系。建立并完善再制造技术和装备体系，加强再制造拆解工艺与技术、高效清洗、无损检测、寿命评估技术、修复成形与加工等研究，形成再制造技术的系统解决方案。

#### 3. 突破共性关键技术

强化航空动力领域国家战略科技力量，组建航空动力科技国家实验室，科学实施重大科技项目，实现新一代航空动力核心关键技术和共性技术突破。积极开展颠覆性技术研究及应用，围绕基础理论、共性关键技术开展前瞻性研究，发展能量管理、健康评估及管理、智能控制、组合 / 混合 / 联合动力系统匹配及模态转换等航空动力技术。

着眼未来航空动力领域的高效化、智能化、绿色化，系统谋划未来航空动力领域技术创新工作。把握未来先进航空动力由低适用性向高适用性、由机械化向数字化及智能化、由化石能源向可持续能源的发展趋势，以航空器平台的实际需求为牵引，及时在齿轮传动涡扇发动机、混合电推进系统、高超声速航空动力、氢 / 氨 / 生物燃料推进系统及其关键技术方面开展深入研究。

#### 4. 布局基础技术研究

开展先进材料、制造工艺、设计方法、基础元器件、工业软件等方面的协同攻关,加强能源供给、设计工具、智能制造等方向的基础工业创新。拓宽航空动力领域信息与技术的共享渠道,健全航空动力科技成果的推广转化、信息共享、政策咨询、知识产权等服务,形成利益共享的长效机制。

在中央处理器、电子元器件等方面系统开展国产化研究,打破国际技术垄断。针对高精度、高可靠性、高响应测试,非接触式测量等技术开展研究,形成通过试验验证且先进完备的方法工具、规范、数据库集合,适应航空动力新产品研制亟需。

发展具有自主知识产权的仿真计算软件,建成大型数字化信息交互分析平台,形成较为系统的高精度仿真手段,提升一体化协同设计效率。推动制造技术与仿真技术的融合,建立航空动力产品加工、装配仿真一体化平台,优化工艺设计流程并缩短周期,提升生产稳定性并严格控制加工精度的离散性。

## 六、对策建议

### (一) 健全政策法规体系

建议制定《航空产业促进法》,优化航空产业、航空动力行业的外部发展环境,形成国家主导、社会参与的航空强国建设氛围;推动航空动力产业链整合与专业化分工,合理集聚优质资源,统一流程与标准,提高社会资源利用率,保障航空动力产业的全面自主创新发展。完善自主航空动力产品的扶持政策,支持航空动力行业高质量发展,可参照航空动力发达国家的《购买美国产品法》等法律,以立法形式落实航空动力自主保障的要求,促进国内市场上国产航空发动机及其配套产品的扩大使用与迭代更新。研究制定符合世界贸易组织要求的国产民用航空发动机扶持政策,提升装机使用量,通过充分的实际应用提升用户信心;加大通用航空发动机、支线航空发动机的发展扶持力度,以国际适航双边协议形式为国产航空发动机进入主流国际市场创造条件;在市场保护、税收、融资等方面合理给予优惠政策,加快民用航空发动机产业化进程并提高国际市场竞争能力。

### (二) 深化行业体制改革

优化航空动力行业管理体制,增强产业发展活力。创新重大科技项目组织实施模式,鼓励企业与科研院所的高水平长期稳定合作;充分发挥市场机制作用,推进航空发动机企业混合所有制改革,加快实现资本、管理、技术的融合发展,促进航空动力行业结构调整与转型升级。制定航空动力行业基础设施、科研试验设施、共性工艺及技术面向全社会开放共享的管理办法,引导社会创新资源向航空动力领域聚集,注重培育“专精特新”企业群体以激发中小企业的创新活力。建立基于全生命周期成本的装备采购制度,鼓励企业先期投入和自主建设,应用采购成本均摊或后补偿等形式进行核销,激发企业不断提升研发生产效率。拓宽行业信息的双向发布渠道,健全成果推广/转化、信息共享、政策咨询、知识产权等服务的长效机制。开展技术成熟度评价工作,推动先进民用技术在航空动力领域的应用。

### (三) 优化行业运行机制

建议全面推进航空动力领域的深度融合开放,建立协作共赢机制,推动技术转移/转化,尽快实现民用航空动力产品产业化;面向社会开放重点资源,通过资源共享机制破解航空动力行业的过高壁垒,推动产业规模扩大和质量提升。构建市场化导向的民用航空发动机研制环境,树立市场观、客户观,强化契约精神引导的市场化合同管理、成本核算、供应商管控与市场营销机制。强化“飞发”协调的一体化运行,推动国内航空运营单位与主制造商的密切合作。落实民航适航审定部分与工业方的联合工作机制,推动民航局方要求与适航规章在航空动力产品研制体系中的贯彻落实。

### (四) 完善人才培养体系

加强航空动力科研与工程技术人才队伍建设,培育以高级别的专业技术人才、技能人才、管理人才为核心,专业配套、结构合理、素质优良、充满活力的行业人才队伍。加强技能人才培养与实践锻炼,培育兼具基础研究、综合设计、试验试制、工艺制造等能力的综合性团队。围绕重大专项、高新工程等重点任务,在国家层面出台专门政策,拓宽国际高端人才引进渠道,培育一批学识渊博、思

维超前、造诣深厚、行业知名的领军型人才和专业技术优势团队。构建以重点任务完成、价值创造水平为核心的人才考核评价体系,针对设计研发、试验测试、生产制造、项目管理等岗位实施差异性激励办法,提升行业人员的社会地位和荣誉感,保障核心骨干团队的长期稳定性,调动科研人员的积极性和创造性。

### 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:** July 26, 2021; **Revised date:** September 26, 2021

**Corresponding author:** Yan Wuying is a senior engineer from the AERO Engine Academy of China. His major research field is aero-engine development strategy. E-mail:76837108@qq.com

**Funding project:** Chinese Academy of Engineering project “Research on the Development Strategy of a Power Country” (2020-XZ-26)

### 参考文献

- [1] 向巧, 胡晓煜, 孙培培. 振兴航空动力 实现民族梦想——航空发动机发展之我见 [J]. 航空动力, 2018 (1): 7–11.  
Xiang Q, Hu X Y, Sun P P. Opinion on the development of China aero engine industry [J]. Aerospace Power, 2018 (1): 7–11.
- [2] 刘大响, 金捷, 胡晓煜. 抓住大型飞机的历史机遇 实现航空动力的创新发展 [J]. 航空制造技术, 2008 (2): 26–29.  
Liu D X, Jin J, Hu X Y. Seize the historical opportunity of large aircraft to realize the innovative development of aero engine [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008 (2): 26–29.
- [3] European Union. Clean sky 2 development plan (2021) [EB/OL]. (2022-03-01)[2022-03-15]. <https://www.clean-aviation.eu/sites/default/files/2022-03/CS2DP-October-2021.pdf>.
- [4] National Aeronautics and Space Administration. NASA aeronautics strategic implementation plan 2019 update. [EB/OL]. (2019-03-15) [2022-02-15]. <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/sip-2019-v7-web.pdf>.
- [5] HM Government. Industrial strategy aerospace sector deal [EB/OL]. (2018-03-15)[2022-02-15]. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/763781/aerospace-sector-deal-web.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/763781/aerospace-sector-deal-web.pdf).
- [6] 向巧. 航空发动机及燃气轮机热端部件发展现状与趋势——设计、材料、制造与维修 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2021.
- [7] Xiang Q. Developing status and trends of hot component for aero engine and gas turbine: Design, materials, manufacturing and maintenance [M]. Beijing: Beihang University Press, 2021.  
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)[2021-12-15]. [http://www.xinhuanet.com/2021-03/13/c\\_1127205564.htm](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)[2021-12-15]. [http://www.xinhuanet.com/2021-03/13/c\\_1127205564.htm](http://www.xinhuanet.com/2021-03/13/c_1127205564.htm).
- [8] 张于喆, 王海成, 郑腾飞. 价值链视角下的我国航空强国建设研究 [J]. 科学管理研究, 2019(6): 55–59.  
Zhang Y Z, Wang H C, Zheng T F. Research on building China into a strong aviation country from the perspective of value chain [J]. Scientific Management Research, 2019 (6): 55–59.
- [9] “中国工程科技2035发展战略研究”项目组. 中国工程科技2035发展战略: 机械与运载领域报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2019.  
The Project Group for Research on the Development Strategy of China's Engineering Science and Technology for 2035. The development strategy of China's engineering science and technology for 2035: Machinery and transportation field reports [M]. Beijing: Science Press, 2019.
- [10] 颜瑾钊, 李明. 2020年军用航空动力发展综述 [J]. 航空动力, 2021 (2): 16–19.  
Yan J Z, Li M. Development review of military aero engine in 2020 [J]. Aerospace Power, 2021 (2): 16–19.
- [11] 晏武英. 美国新一代国家级军用航空动力预研计划分析 [J]. 航空动力, 2018 (2): 35–39.  
Yan W Y. Analysis of U.S. new generation military aeronautical propulsion research program [J]. Aerospace Power, 2018 (2): 35–39.
- [12] 晏武英. 美欧航空发动机重大科技专项计划分析 [J]. 航空动力, 2021 (2): 39–44.  
Yan W Y. Analysis to major scientific and technological projects of aero engines of USA and Europe [J]. Aerospace Power, 2021 (2): 39–44.
- [13] 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.
- [14] 刘静琳, 蒋平, 黄劲东. 民用航空发动机客户支持需求研究 [J]. 航空维修与工程, 2020 (9): 50–54.  
Liu J L, Jiang P, Huang J D. Study on civil aero-engine customer support requirement [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2020 (9): 50–54.