

# 航空工程科技未来 20 年发展战略研究

孙聪<sup>1</sup>, 赵群力<sup>2\*</sup>, 孙侠生<sup>1</sup>

(1. 中国航空研究院, 北京 100012; 2. 中国航空工业发展研究中心, 北京 100029)

**摘要:** 在航空强国建设稳步推进的背景下, 航空工程科技涉及专业领域多、技术风险高、资金投入大、发展周期长, 需要制定长期、稳定的发展战略, 才能集中力量突破航空工程科技的关键核心技术, 实现航空工业的可持续发展。本文从民用飞机、航空动力、机载系统、空管系统 4 个方面出发, 总结了世界航空工程科技发展态势, 梳理了我国航空工程科技发展现状; 识别出基础研究及技术储备、系统集成与产品体系研究、航空动力技术、机载系统研发及试验、航空维修能力、工业软件及基础元器件等方面的不足。在此基础上, 论证提出了未来 20 年我国航空工程科技发展构想, 着重阐述了超声速客机、高速旋翼机、新能源飞机、混合电推进系统、新一代空管技术、智能化客机技术、全复合材料航空发动机技术、复合材料智能修复技术等未来项目部署的重点方向。研究建议, 将航空强国建设列入国家中长期战略规划, 强化科技创新体系建设, 加强跨领域协作, 注重国际合作, 精准支撑未来 20 年航空工程科技发展。

**关键词:** 航空工程科技; 民用飞机; 航空动力; 机载系统; 空管系统; 智能化

**中图分类号:** V37 **文献标识码:** A

## Development Strategy of Aeronautical Engineering Science and Technology in the Next 20 Years

Sun Cong<sup>1</sup>, Zhao Qunli<sup>2\*</sup>, Sun Xiasheng<sup>1</sup>

(1. Chinese Aeronautical Establishment, Beijing 100012, China; 2. Aviation Industry Development Research Center of China, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Aeronautical engineering science and technologies involve multiple disciplines, high technical risks, large capital investment, and long development cycles; therefore, a long-term, stable development strategy is needed to achieve breakthroughs regarding the key core technologies of aeronautical engineering science and technologies and to realize the sustainable development of the aeronautical industry. This study summarizes the global development trend and China's development status of aeronautical engineering science and technologies from four aspects: civil aircraft, aero engine, airborne system, and air traffic control system. It also identifies the development deficiencies in terms of basic research and technical reserves; system integration and product system research; aero engine technology; airborne system research, development, and testing; aeronautical maintenance capabilities; and industrial software and basic components. On this basis, a 20-year development vision for aeronautical engineering science and technologies in China is proposed, as well as key directions for future project deployment: supersonic passenger aircraft, high-speed rotorcraft, new energy aircraft, hybrid electric propulsion systems, next-generation air traffic control technologies, intelligent passenger aircraft, all-composite aero engines, and intelligent repair technologies for composite materials. Furthermore, the study suggests incorporating aeronautical power construction into national medium- and long-term strategic planning, strengthening the

收稿日期: 2024-07-15; 修回日期: 2024-09-10

通讯作者: \*赵群力, 中国航空工业发展研究中心研究员, 研究方向为航空科技信息; E-mail: tom\_cat8481@sina.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国工程科技未来 20 年发展战略研究”(2021-XBZD-13)

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

construction of a scientific and technological innovation system, enhancing interdisciplinary cooperation, and emphasizing international collaboration, thereby precisely supporting the development of aeronautical engineering science and technologies in the next 20 years..

**Keywords:** aeronautical engineering science and technology; civil aircraft; aero engine; airborne system; air traffic control system; intelligent

### 一、前言

航空工程科技属于综合性高技术，涵盖机械、电子、能源、动力、材料、制造等技术领域，其高质量发展依赖国家科技和工业基础。航空科技创新的需求也会整体性带动国家科技与工业体系的发展，促进航空技术和相关基础技术的协同进步，发挥航空技术向相关行业的溢出与辐射效应。一般认为，航空工程科技位于现代工程技术体系的“上层”，是衡量国家科技发展水平、科技创新能力的重要标志；发展航空工程科技，对提高航空产品的市场竞争力、实现航空工业高质量发展、带动国家整体科技水平提升具有重要意义。十多年来，我国航空强国建设稳步推进，航空工业获得跨越式发展，一批尖端航空技术、标志性航空装备获得突破和应用。

也要注意，航空工程科技涉及专业领域多、技术风险高、资金投入大、发展周期长，需要制定长期、稳定的发展战略，才能明晰发展目标、选准技术路径，在公共管理、科研生产机构、航空公司、航空供应商、投资机构等层面形成行业发展共识。代表性的研究进展有：基于我国航空动力行业发展态势分析，提出了建设航空动力强国的发展策略<sup>[1]</sup>；精准把握我国民航运输业低碳化发展形势，提出了民用航空运输业低碳化发展策略<sup>[2]</sup>；应用“情景-任务-能力”分析架构，探讨了我国航空应急救援体系建设课题<sup>[3]</sup>；研判国内外航空科技发展态势，提出了面向2035年的我国航空科技重点发展任务<sup>[4]</sup>。

本文围绕航空工业未来20年发展、“十五五”发展规划的研究需要，梳理国内外航空科技发展格局，较为系统地提出未来20年我国航空科技发展构想，着重论证未来20年我国航空工程科技重大项目部署建议，以为航空强国建设的学术研究、科学决策提供参考。

### 二、世界航空工程科技发展态势

飞机是20世纪最重要的发明之一，种类越来越

多、性能不断提高、应用更为深入。从航空工程科技的研究视角看，民用飞机、航空动力、机载系统、空管系统是主要的技术组成部分，可据此梳理世界航空工程科技的进展与格局。

#### （一）民用飞机

在干线飞机领域，波音B787、空中客车A350代表着世界先进水平，主要技术特征有：采用精细化气动设计，全机巡航升阻比约为20；机体结构大量采用复合材料，用量占比保持在50%左右；采用电传飞控系统、大尺寸平板显示器，逐步引入增强视景系统、三维合成视景系统，显著改善飞行员工作负荷。新一代超声速客机的研制工作也已启动，如美国博姆超声速公司正在研制“序曲”超声速客机，最大飞行速度为Ma1.7，航程为7870 km，载客量为65~88人，获得多家航空公司共130架订单，计划2029年正式投入运营。

在支线飞机领域，空中客车A220、巴西航空工业E2系列客机是典型产品，主要技术特征有：采用高效的气动设计和碳纤维、钛合金等先进材料，配装新一代静洁型航空发动机、包括全电传操纵系统在内的先进机载系统，显著提高燃油效率、大幅降低维修成本，同步改善污染物排放和外部噪声水平。

在直升机领域，H-160、卡-62、S-92等是世界先进水平的机型，主要技术特征有：采用优化设计的复合材料旋翼桨叶、无轴承或弹性铰式等新型桨毂，配装第三代涡轮轴发动机，机体结构较大比例甚至全部采用复合材料，配置电传操纵系统和先进的飞行控制、通信导航、综合显示、任务管理系统，最大平飞速度约为315 km/h。高速旋翼机的技术研究和产品开发工作也已开展，如意大利莱奥纳多公司的量产型AW609倾转旋翼机预计2024年取证并交付运营。

在通用飞机领域，以湾流G650、庞巴迪环球7500为代表的高端公务机，飞行速度和航程进一步提高，舒适性更好，设置了操作友好的人机环境和

“玻璃座舱”，深受市场欢迎<sup>[5]</sup>；西锐 SR22 甚至采用了整机降落伞技术以提高安全性。为提高飞行的环保性和便捷性，电动垂直起降飞机（eVTOL）成为新的发展热点，如亿航智能技术公司研制的 EH216-S 取得型号合格证并获得 50 架订单。

## （二）航空动力

在航空动力方面，通用电气航空航天公司（GE Aerospace）公司的 GE9X、普惠公司的 PW1000、罗罗公司的遄达 XWB、赛峰集团的 LEAP 系列发动机是先进民用发动机的代表产品，主要技术特征有：进一步提高压比，如 GE9X 的压比达到 60（GE90 的压力比仅为 42）；显著提高叶片气动效率，进一步提高发动机涵道比，如 GE9X 的涵道比达到 10；采用双环预混旋流器，使空气与燃油以更加理想的比例混合，进而提高燃烧效率并降低 NO<sub>x</sub> 排放。

为满足未来客机应用需求，赛峰集团、GE 公司联合开展“可持续发动机革新技术”（RISE）演示验证计划，以一系列新技术推动下一代窄体客机用动力系统的研发。与 LEAP 发动机相比，RISE 规划的动力系统，其油耗水平、碳排放强度均降低 20% 以上，与可持续航空燃料（SAF）100% 兼容<sup>[6]</sup>。RISE 计划采用开式风扇发动机架构，综合混合电推进系统、紧凑型核心机、先进复合材料等，在大幅提升动力系统效率的基础上，实现更多飞机部件系统的电气化，提供与当前干线飞机相近的飞行速度和环境体验。

## （三）机载系统

得益于信息、材料、大数据、人工智能（AI）等技术的发展，航电系统正在从各子系统相互独立转向综合化、智能化发展，电传操纵、全系统信息管理、多频率 / 多星座 / 多传感器组合导航、地形感知与告警系统、视景增强与合成系统、健康监测等技术在民机上的应用更为普及。

飞机电力系统正在从低压直流（28 V）、恒频交流（115 V、400 Hz）转向高压直流（270 V、540 V）、变频交流（115 V、230 V、360~800 Hz）。高压直流、变频交流电力系统成为飞机电力系统的重要发展趋势。起动 / 发电一体化、高速高温超导电机、高温电力电子、固态配电等新技术将进一步提高飞机电力系统性能。

通信系统正在由话音通信转向数字通信、窄带通信转向宽带通信、数据链通信转向通信网通信，涉及的卫星通信、宽带通信、数字语音等技术进展良好。

导航系统目前以惯性导航、卫星导航为主，正在转向多频率 / 多星座卫星导航、多元导航，涉及的全球卫星导航系统、多模式组合导航、基于性能的导航等技术逐步普及应用。

## （四）空管系统

为应对航空市场快速增长带来的空域容量饱和、航班运行效率下降等挑战，美国、欧洲分别开展了“下一代航空运输系统”“欧洲单一天空空管研究计划”等研究项目，聚焦空管系统能力升级和现代化，引导未来空中交通管理系统的精细化、自主化、绿色化、智能化发展。新一代空管系统的运行场景将从单一运输航行转向多元异构飞行，主要包括绿色智能的空中交通自主化飞行、安全便捷的空管个性化定制服务、耦合交织的空天飞行器跨域运行等<sup>[7]</sup>。

新一代空管系统的研发重点包括：基于四维航迹的空管运行态势智能感知与协同调度、空中交通精细化协同运行、空地协同的自主运行、航空器全流程精细化管控、空域精细化管理与协同运行、基于算力的全国航班融合运行、有人 / 无人融合运行。后续，空管系统容量将大幅增加，空域资源与管制服务将实现区域化、协同化、一体化，传统空管服务模式转向数字化空管服务模式。

## 三、我国航空工程科技发展现状及存在的问题

### （一）我国航空工程科技发展现状

我国经济社会快速发展、科技创新能力不断增强，驱动航空运输体系和航空工程科技稳健发展，带动民用飞机、航空动力、机载系统、空管系统等技术的显著进步。我国已是拥有完整的航空科研生产体系的少数国家之一。

#### 1. 民用飞机

在干线飞机方面，C919 客机已于 2017 年首飞，2022 年获得适航证，2023 年投入商业运营；C929 远程宽体客机进入详细设计阶段。在支线飞机方

面，涡扇支线客机ARJ21-700累计交付近140架，涡桨支线客机MA700进入适航审定试飞阶段。在直升机方面，AC311、AC313、AC352等先后研制成功，形成2吨级、4吨级、7吨级、10吨级、13吨级系列产品。在通用飞机方面，AG600水陆两栖飞机、锐翔RX4E电动飞机、小鹰-700飞机、翼龙-2H应急救援型无人机等完成研制与应用，拓展了我国民机产品体系，提高了国产飞机的市场竞争力。

### 2. 航空动力

在国家科技重大项目的支持下，民用航空发动机研制获得重大突破。涡轴-16发动机取得型号合格证、生产许可证，达到国际先进水平，也是国内首个严格按照最新适航规章要求进行符合性验证的型号，为国内其他航空产品适航取证工作提供了经验借鉴；配装AC352型多用途民用直升机，获得型号合格证，填补了我国民用直升机谱系空白。150~180座级单通道客机用动力CJ1000A，具有低排放、低噪声、低油耗、高可靠性、长寿命等技术特征，研制工作正在按计划推进。针对双通道远程宽体客机应用需求的先进发动机产品CJ2000，研制进展顺利。1000千瓦级民用涡轴发动机（AES100）双发配装直升机首飞成功，获得适航证<sup>[8]</sup>。5000千瓦级民用涡桨发动机（AEP500）技术指标达到国际先进水平，为国产支线客机提供了更高性能的动力产品。

### 3. 机载系统

以C919客机为代表的新一代航空产品与装备完成研制，标志着我国航空工业全面进入自主创新发展阶段，尤其是推动航空机载系统取得长足进步。①在航电技术方面，掌握了多余度电传飞控技术，成功应用于C919客机；无线电导航、惯性导航、卫星导航、组合导航等技术已用于多种飞机型号；“空-天-地”一体化、数字化、网络化的通信能力全面建成并开展飞机应用。②在机电技术方面，先进民用飞机的环控、救生、电源、液压等机电系统关键技术获得突破，机电系统的信息综合管理，液压、燃油、二次配电综合控制等能力全面构建，飞机防/除冰、防撞、小型飞机整机伞降等技术实现工程应用，全面提高了民用飞机的安全性。

### 4. 空管系统

近年来，空管系统技术创新进展良好，相关新

技术对民航业高质量发展起到了显著的支撑作用。中国民用航空局制定了基于性能的导航、广播式自动相关监视（ADS-B）、平显（HUD）、电子飞行包（EFB）、卫星通信、航空器追踪监控等航行新技术的实施路线图，着力从导航、监视、通信等方面出发，系统推动飞行运行方式变革、数字化运行模式构建，为智慧民航运输系统提供了坚实的信息化前置条件。

在民航信息基础设施方面，卫星导航、ADS-B等技术应用取得重要突破，掌握了ADS-B、民航地基增强系统等监视与导航新技术，实现空管一次雷达、二次雷达、ADS-B系统的国产化。全国民航东西部ADS-B工程竣工并投入应用，突破了民航广域信息管理平台关键技术。民航通信网工程建设进入收尾阶段，新建了民航运行大数据中心，实现中国民用航空局统一管控的民航运行信息交换，支持打破行业信息“孤岛”，促进民航信息资源整合。

在空中交通管理方面，突破了卫星导航应用、自动相关监视、协同空管运行、四维航迹运行等技术，研制了国产全球导航卫星系统地基增强系统、具有自主知识产权的飞行校验系统、增强型通用航空飞行服务站、场面综合交通监视与引导系统，完成我国首次初始四维航迹试验飞行。形成一批标志性的工程科技成果，显著增强了我国空管领域的核心竞争力和可持续发展能力。

在空管技术的支撑下，空管运行标准及时更新，流控措施进一步优化，管制间隔明显缩小，大通道建设取得重要进展。例如，空管原因导致的不正常航班数占比下降至0.75%，5年平均航班正常率接近80%，空管自动化系统的国产化率超过80%，主要设备全面实现国产化。

## （二）我国航空工程科技存在的问题

### 1. 基础研究不健全，技术储备不足

在我国，航空基础研究由多个军民管理部门负责管理，各自的关注点和侧重点不同，导致航空领域长期缺乏综合规划，对未来产品和新技术的支持缺少系统性与连续性，不利于材料、动力、气动等方面的研究积累与突破。科研、生产、应用等部门之间存在条块分割的情况，导致前沿性、颠覆性技术研究成果难以及时有效地进行转化应用，面临“型号缺技术、技术缺数据、数据缺验证”的发展

困境，也使原始创新能力薄弱的局面未能扭转。

### 2. 系统集成和产品体系研究能力不足

在我国，较多航空产品都是在参考借鉴国外的基础上进行研制的，而基于市场分析的正向设计能力不足，造成航空产品体系研究、多学科优化、标准规范研制、概念方案快速原型化等方面能力不强。面向行业共性需求的整机集成验证平台缺失，导致系统集成能力难以获得便利和充分的验证。

### 3. 航空动力技术水平不高

航空动力技术发展周期长、投资大，在我国长期未受到应有的重视。在国家科技重大项目实施后，相关情况有所好转，但整体来看我国航空动力技术发展仍处于由跟踪研仿向自主创新的转折期，能力水平与传统航空强国相比尚存差距。例如，高可靠性压缩系统、高温升燃烧室、高性能涡轮等部件关键技术，仿真、结构完整性、轻质耐高温材料、数字化制造等共性技术，都亟需提升技术成熟度才能满足航空动力发展需要。

### 4. 机载系统的研发模式和设计试验能力滞后

航空机载系统高度依赖主机牵引，而航空机载系统的技术能力、产品性能、研发模式等未能按照正向设计理念进行布局，相应技术储备有所不足。相关研制单位缺乏系统级的综合设计能力，不具备完整的系统设计与评估工具链，也未构建系统功能定义、分配、确认所需的能力及环境；难以开展以顶层需求为牵引的高水平需求逐级分解，不利于进行系统级的综合优化；对于机电综合技术涉及的基本原理、工作模式、故障机理、产品设计、标准规范、模型数据等，持续性的系统研究缺乏，技术水平不高。

### 5. 航空维修能力不足

在我国，相比航空设计和制造，航空维修技术更是有获得应有的重视，导致必要投资不足、关键能力滞后，主要表现在：维修方式陈旧、维修工艺落后，应用传统的故障维修技术已经很难有效分析出隐患原因并进行针对性的处理；航材管理能力不足，飞机因备件不足出现停场成为飞机故障延误的首要因素；维修能力的建设布局不合理，信息管理水平和跟不上发展需求。

### 6. 工业软件、基础元器件等对外依存度高

鉴于基础工业能力不足、航空产业链长、配套供应商多，我国航空工业大量采用国外的工业软

件、材料和元器件。尽管这是世界航空工业的通行做法，但在国际形势变化、逆全球化思潮抬头的背景下，我国先进航空产品所需的高性能材料、高精度轴承、高性能元器件、高精度机床、工业软件等可能面临供应中断的风险。加大国内自主配套的力度、稳步降低相关产品的对外依存度成为亟需。

## 四、未来 20 年我国航空工程科技发展构想

### （一）宏观需求

#### 1. 实现“双碳”目标的需求

碳达峰、碳中和已经成为国家层面的明确要求<sup>[9]</sup>，《“十四五”民航绿色发展专项规划》（2022 年）提出了 2035 年民航绿色发展愿景目标，这给航空工业发展带来了新的要求。需要优先发展绿色航空技术，降低飞机、发动机、机载设备、航空制造、航空运营、维修保障等业务活动中的能耗水平和碳排放强度<sup>[10]</sup>。

#### 2. 建设交通强国的需求

建设交通强国是国家重大部署，航空运输是国家综合交通系统的重要组成部分<sup>[11]</sup>。随着居民生活水平的提高，航空运输的需求在扩大，航空运输在国家交通体系中的地位也更高。需要研制适合不同运输任务需要的干线飞机、支线飞机、公务机、通勤飞机以及适合不同机场的货机；建设智慧、高效的机场设施以及覆盖全空域的大容量空中交通管理系统，更好满足交通运量增加、安全性能提升和低空经济发展的需求。

#### 3. 建设航空强国的需求

国家高度重视航空工业发展，就航空强国建设提出了具体要求。需要面向航空工程科技前沿，加强航空基础技术、航空前沿技术研究，筑牢航空工业高质量发展的科技基础；加快研制具有国际先进水平和市场竞争力的航空产品，拓展航空工业规模，带动关联产业发展壮大；加强航空工程科技创新体系建设，提高科技创新能力。

### （二）总体思路

围绕经济社会发展对航空工程科技的重大需求，突出引领制造业转型升级、支撑经济高质量发展的战略定位，依托重大科技项目，增强航空基础研究和新产品研制能力；推动航空工程科技与信

息、新能源、新材料等领域的交叉融合，构建面向未来的航空技术体系，培育自主可控的非对称竞争优势；开发具有国际市场竞争力的高端航空产品，显著提升航空工程科技创新水平，尽快成为世界航空强国。

到2030年，C919、ARJ21、MA700、小型电动飞机实现产业化，CJ1000A发动机完成适航取证，实现航空发动机、机载系统的系列化发展；构建超声速客机、高速旋翼机、新能源支线飞机、新一代空管系统、智慧民航等领域的关键技术体系，形成航空工程科技自主创新能力，建成创新引领、集约高效的现代航空工业体系。

到2040年，C929、超声速客机、高速旋翼机、新能源支线飞机的研制生产基本完成，航空产品技术水平、市场竞争力与世界航空强国基本相当；世界一流的现代化综合机场体系、空中交通管理体系、航空装备技术体系、航空运输服务体系、航空安全管理体系全面建成，航空运输核心装备和关键技术达到国际一流水平；AI技术在航空领域得到广泛应用，航空工程科技水平与创新能力进入世界前列。

### （三）重点任务

#### 1. 建设智慧高效的航空运输体系

面向交通强国战略，提高航空运输的绿色、智能、高效、便捷水平，建设现代化综合机场体系、空中交通管理体系、航空运输服务体系、航空安全管理体系<sup>[12]</sup>，实现航空客/货运输畅行全球、高效通达、便捷舒适。进一步提升航空运输装备的技术水平，形成国际一流的航空运输核心装备体系，国产民机在航空运输机队中的占比达到20%。航空运输能力增加1~2倍，产业内外协同更加紧密，航空运输发挥更加明显的经济发展促进作用。

#### 2. 研制具有市场竞争力的航空产品

2040年前，我国民用飞机市场需求巨大<sup>[13,14]</sup>。需聚焦C919、C929客机，MA700支线飞机，AG600水陆两栖飞机等重点型号，提高先进民用飞机的研发和生产能力，追求系列化、规模化发展，满足航空运输、应急救援、航空作业等任务的综合需求。针对快捷飞行、绿色环保等航空业发展新需求，开展新构型飞机、超声速客机、高速旋翼机、新能源飞机技术研究，提高航空工程科技可持续发展能

力。按照“动力先行”“一代飞机、多代航电”的原则，持续研制先进发动机、新型航电设备，满足新型飞机研制、现役飞机改进/改型的需要。

#### 3. 建立扎实的航空技术储备

建设航空科研亟需的先进试验设施，组建跨学科人才队伍，提高航空工程科技创新能力。加强航空科技基础研究，探索AI、大数据、超材料、纳米技术、量子技术、仿生技术等航空工程领域中的应用。针对未来航空产品发展需求，深化飞机总体设计、空气动力、结构强度、航空动力、航空电子、航空机电、航空材料、航空制造等专业领域的技术研究，建立扎实的航空技术储备，形成航空工程科技技术优势，全面提升原始创新能力。

## 五、未来20年我国航空工程科技的重大项目部署

### （一）超声速客机

#### 1. 需求背景

20世纪投入运行的“协和”、图-144等第一代超声速客机，显著缩短了洲际航线的旅行时间，但在环保性、舒适性、经济性方面存在问题而致提前退役。然而，快速、远程飞行的需求始终存在，新型超声速客机依然有发展价值。传统航空强国已经开始研究新一代超声速客机<sup>[15,16]</sup>，预计2030年前后投入使用，将支持形成新的经济增长点。为了抢占未来航空工程科技的技术制高点，我国也需要加快开展超声速客机技术研究。

#### 2. 主攻方向

在气动/声爆多物理场耦合优化设计、宽速域/低声爆/高效气动布局设计与优化、人工视野驾驶舱与沉浸式全景客舱设计、宽速域高效进气道设计、大长细比/高压差机身结构设计及综合优化等方面取得技术突破，开展全尺寸验证机技术飞行试验，为研制Ma1.8、航程不低于8000 km的超声速客机提供关键技术储备。

#### 3. 预期进展

到2030年，完成超声速客机总体、气动等关键技术攻关。到2035年，完成超声速客机关键技术深化攻关与飞行验证。到2040年，完成超声速客机原型机研制，实现首飞。

## （二）高速旋翼机

### 1. 需求背景

旋翼机不依赖机场、使用灵活，但存在飞行速度慢、运输效率低的不足。高速旋翼机（巡航速度 $>400$  km/h）将显著提高旋翼机的飞行速度和运输效率，成为航空领域的研制热点<sup>[17]</sup>，有望取代多种常规直升机，引领直升机产业升级换代。把握技术发展机遇、系统开展高速旋翼机技术研究的需求非常迫切。

### 2. 主攻方向

在高速旋翼机构型、共轴刚性旋翼总体设计、倾转旋翼总体设计、高速旋翼机动力学等方面取得技术突破，完成高速旋翼机原型机的研制和试飞，实现直升机技术的跨代发展，为提高我国直升机的国际市场竞争力筑牢科技基础。

### 3. 预期进展

到2025年，完成民用高速旋翼机的市场需求调研分析、总体方案设计筛选，确定总体设计初步方案。到2030年，完成民用高速旋翼机的关键技术攻关、产品任务效能及竞争力分析，研制原理样机并开展缩比试验。到2035年，完成民用高速旋翼机产品详细设计，开展原型机建造和研制试验，启动产品适航取证，与试航当局共同确定民用高速直升机适航取证标准。到2040年，完成民用高速旋翼机的产品取证，形成产品批产和市场运营能力。

## （三）新能源飞机

### 1. 需求背景

新能源飞机主要分为电动飞机、氢能飞机。得益于“双碳”目标的推动，氢能作为清洁能源将助力深度脱碳，促进航空业变革转型<sup>[18]</sup>。国外研究机构纷纷布局氢能飞机<sup>[19-24]</sup>，航空发动机制造商也积极开展氢能航空动力研发，其中燃氢涡轮发动机是研究重点<sup>[25]</sup>。发展新能源飞机，是响应世界航空运输业绿色低碳升级的迫切需要、实现航空制造业高质量发展的必然选择。

### 2. 主攻方向

开展氢燃料电池、分布式电推进系统、氢涡轮发动机、低温氢燃料储存运输系统、新能源飞机结构与气动布局、新能源飞机运营保障系统等关键技术研究；研制新能源通用飞机和新能源支线飞机，提升安全性和经济性，为航空工业向新能源转型确

立技术基础。

### 3. 预期进展

到2025年，完成4座氢燃料电池飞机、小型电动直升机、2座/4座水上电动飞机研制，推动2~4座电动飞机市场化。到2030年，完成基于运12、MA600的新能源飞机研制，实现20座级新能源通用飞机的商业化运营，全面验证新能源支线飞机的关键技术。到2040年，完成采用分布式推进等新构型的新能源支线飞机研制，完善新能源飞机运营基础设施，实现新能源支线飞机的商业化运营。

## （四）混合电推进系统

### 1. 需求背景

混合电推进系统指通过传统的燃气涡轮发动机带动发电机发电，为分布在机翼或机体上的多个电动机提供电力，再由电动机驱动风扇/螺旋桨提供飞机推力的一种新概念推进系统。主要优势是改善飞机的气动结构、大幅提高等效涵道比、提升气动效率、降低油耗、减少噪声和排放。与纯电、氢燃料电池动力系统相比，混合电推进系统具有更大的输出功率，可满足支线飞机、窄体客机、多电飞机对动力性能及电力供应的需求。目前，混合电推进系统已成为航空动力技术的发展热点之一<sup>[26-29]</sup>。

### 2. 主攻方向

突破混合电推进关键技术，完成兆瓦级混合电推进系统的工程研制；实现混合电推进系统的系列化发展，构建批量交付和运维能力，为新一代支线飞机、窄体客机提供先进可靠的动力技术储备。

### 3. 预期进展

到2025年，完成百千瓦级燃气涡轮发电系统的集成验证，实现储能系统、发电系统的集成验证，全使用场景的电池匹配技术验证。到2030年，完成兆瓦级混合电推进垂直起降飞机、小型支线飞机的飞行验证。到2035年，确保面向通航市场的兆瓦级混电系统具备适航取证条件，完成针对窄体飞机动力需求的混合电推进系统整机集成验证。到2040年，完成适用于窄体飞机的混合电推进系统工程研制。

## （五）新一代空管技术

### 1. 需求背景

民航运输业高速发展，大量低空飞行器投入使

用，导致空中交通规模与复杂度显著超出当前技术架构确定的运行模式所具有的极限容量。发展新一代空管技术，才能实现由“以人为中心”运行模式向“以机器为中心的自治型”运行模式的转变。新一代空管技术是支撑航空运输能力不断增长、促进低空经济持续发展、维护空域安全并提高运输效率的关键技术。

### 2. 主攻方向

在地空宽带通信、民航飞联网、航迹协同运行、空管自主运行、有人/无人驾驶航空器混合运行管控等方面取得技术突破，构建透彻感知、泛在互联、智能协同、开放共享的智慧空管体系。驱动智慧空管体系成为智慧民航建设的先行示范、数字民航建设的先导产业，为交通强国、航空强国建设提供有力支撑。

### 3. 预期进展

到2025年，建立“空天地”一体化协同环境，保障空地协同的自主运行研究。到2035年，突破空中交通四维航迹精细化管控、空域自适应柔性管理等关键技术，实现四维航迹运行。到2040年，突破有人/无人驾驶航空器混合运行、自主智能避让等关键技术，实现运行主体的自主运行。

## （六）智能化客机技术

### 1. 需求背景

AI技术与应用发展迅速，为航空工程科技发展带来了重要机遇，如AI技术在飞机设计、制造、试飞、运营等关键环节上开始获得应用。开展智能化客机技术研究，将加快民用飞机智能化进程，进而提高民用飞机的综合性能和市场竞争力。

### 2. 主攻方向

在智能辅助驾驶、智能起降、智能防撞、智能化客舱、智能维修保障、智能健康安全监测等方面取得技术突破，提高客机的安全性、舒适性、智能化运营能力，改善维修保障效率，降低航空公司运营成本并提高盈利能力。

### 3. 预期进展

到2025年，形成全面智能化的民机概念方案，构建L1级智能驾驶能力，通过高等级自动化驾驶系统、智能辅助决策系统实现高精度飞行控制，具备复杂环境及状态的全方位感知、辅助飞行员决策等能力。到2030年，突破智能化客机系列关键技

术，支持开展飞行验证，构建L2级智能驾驶能力，进入“有人监控、机器驾驶”阶段，具备对典型状态和故障的主动识别及准确判断、限定场景下自主决策等能力。到2040年，实现智能化客机技术在民用飞机上的广泛应用，构建L3级智能驾驶能力，与空管系统协同工作，形成空地自动化管制、四维时空资源精细化分配、有人/无人驾驶航空器混合运行、自主智能避让等能力。

## （七）全复合材料航空发动机技术

### 1. 需求背景

未来的绿色环保型飞机对航空发动机提出了更大推力、更低耗油率的性能要求，而在传统材料体系下航空发动机已临近“技术天花板”且难以获得进一步的性能提升。陶瓷基、金属基复合材料快速发展，应用范围从机匣、风扇叶片等低温部件向涡轮盘、燃烧室等高温部件拓展；合理预计，未来航空发动机的各主要部件均可由复合材料制造。研制全复合材料航空发动机，将充分发挥复合材料轻质耐高温、性能可设计的优势，支撑动力性能的跨越式提升。

### 2. 主攻方向

突破航空发动机复合材料设计和制备技术、复合材料发动机设计与制造技术，建立复合材料航空发动机的整机和构件使用标准、评定方法及准则，形成全复合材料航空发动机的研制体系，为研制更高性能的航空动力产品提供关键支撑，进一步提升航空发动机的综合性能。

### 3. 预期进展

到2025年，完成全复合材料航空发动机的基础理论研究。到2035年，突破材料结构一体设计/制造/检测/验证、复合材料构件强度设计及评定等技术。到2040年，完成全复合材料发动机技术验证机研制和飞行试验。

## （八）复合材料智能修复技术

### 1. 需求背景

先进客机、直升机、公务机、无人机的复合材料用量不断增长，对复合材料结构维修的需求迅速增加。AI技术的应用，可以提高复合材料故障诊断效率、快速拟定维修方案、对维修效果作出更加准确的评价，从而提高维修效率、飞行安全性和可靠

性, 对提高航空运输系统的安全性和运行效率具有重要价值。

## 2. 主攻方向

突破飞机复合材料快速智能维修涉及的检测、修复、评价等技术, 自主建立航空复合材料设计-检测-工艺-评价一体化的智能修复体系, 显著增强飞机复合材料的维修和保障能力。

## 3. 预期进展

到2030年, 形成复合材料智能修复理论体系, 研制航空修复领域亟需的高端智能化修复仪器、工艺、软件平台。到2040年, 形成具有自诊断、自修复功能的智能复合材料, 建立飞机修复虚拟现实平台。

## 六、保障我国航空工程科技发展的对策建议

### (一) 将航空强国建设列入国家中长期战略规划

发展航空工业对带动国家工业体系转型升级、提高军民重大装备水平具有战略意义。近年来, 国家虽然发布了支持航空工业发展的诸多政策, 但相较航空强国建设的需要依然有不足。建议加强国家顶层规划, 将航空强国建设提升至国家战略层面, 更好聚集各方力量高质量发展航空工业; 将航空强国建设列入国家的中长期战略规划, 统筹资源并精准开展领域发展建设。

### (二) 强化科技创新体系建设

建设航空科技创新体系, 更好保障航空工业发展需求。建议针对航空技术难点和前沿技术方向, 加大科研条件建设力度, 提升太行实验室、航空研究院、航空科技重点实验室等机构的研发能力; 强化跨单位、跨学科、跨军民、跨央地的创新力量建设, 为从理论学术研究到技术产品实现及工程化, 再到产业规模化提供科技支撑。

### (三) 加强跨领域协作

面向航空工业全产业链, 突出航空重大型号研制、重大科技项目实施的牵引带动和辐射作用, 尤其注重吸引中小企业、民营企业深度参与。加大航空与航天、机械、电子信息、材料、制造、能源、交通运输等技术领域的交叉融合, 更好提升航空工程科技的原始创新能力, 抢占世界航空工程科技领

域的技术制高点。

### (四) 注重国际合作

继续坚持合作共赢的发展理念, 务实推进航空工程科技国际合作, 积极开展与“一带一路”共建国家之间的航空技术合作。合理加大国际合作平台建设及资源保障力度, 依托航空科技合作平台、航空国际合作项目, 面向全球深化与国际组织、科研机构、企业、高校的交流合作, 更好利用国际上的技术、资金、人才、市场, 提高我国航空工程科技创新能力。

#### 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 15, 2024; **Revised date:** September 10, 2024

**Corresponding author:** Zhao Qunli is a research fellow from Aviation Industry Development Research Center of China. His major research field is aeronautical technology intelligence. E-mail: tom\_cat8481@sina.com

**Funding project:** Chinese Academy of Engineering project “Research on the Development Strategy of China’s Engineering Technology in the Next 20 Years” (2021-XBZD-13)

#### 参考文献

- 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.
- 吴光辉, 马静华, 刘倩, 等. 民用航空运输业低碳化发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(5): 165–173.  
Wu G H, Ma J H, Liu Q, et al. Low-carbon development of civil aviation industry [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(5): 165–173.
- 詹承豫, 刘锴. 统筹发展和安全视角下中国航空应急救援体系建设战略研究——基于“情景-任务-能力”分析框架 [J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版), 2024, 37(3): 68–78.  
Zhan C Y, Liu K. Strategic research on the construction of China’s aviation emergency rescue system from the perspective of balancing development and security imperatives: Based on the analytical framework of “scenario-task-capability” [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics (Social Sciences Edition), 2024, 37(3): 68–78.
- 唐长红, 王斌团. 2035年航空科技发展战略研究报告 [R]. 西安: 航空工业第一飞机设计研究院, 2016.  
Tang C H, Wang B T. Research report of 2035 aeronautical science and technology development strategy [R]. Xi’an: The First Aircraft Design and Research Institute of AVIC, 2016.
- General Aviation Manufacturers Association. General aviation aircraft shipment report: 2022 year-end report [EB/OL]. (2023-03-

- 10)[2024-06-15]. <https://gama.aero/wp-content/uploads/2022ShipmentReport2023-03-10.pdf>.
- [6] CFM International. Test progress builds confidence in open fan engine architecture for the future of more sustainable air transport [EB/OL]. (2024-07-21)[2024-09-01]. <https://www.cfmaeroengines.com/press-articles/test-progress-builds-confidence-in-open-fan-engine-architecture-for-the-future-of-more-sustainable-air-transport/>.
- [7] 朱永文, 陈志杰, 蒲钊, 等. 空中交通智能化管理的科学与技术问题研究 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(5): 174–184.  
Zhu Y W, Chen Z J, Pu F, et al. Scientific and technological issues for the intelligent management of air traffic [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(5): 174–184.
- [8] 新华网. AES100 民用涡轴发动机获颁型号合格证 [EB/OL]. (2024-09-06)[2024-09-15]. <http://www.xinhuanet.com/tech/20240906/4e0b1d452c6c48b2a1fa204877cf311d/c.html>.  
Xinhua Net. The AES100 civil turboshaft engine was awarded the type certificate [EB/OL]. (2024-09-06)[2024-09-15]. <http://www.xinhuanet.com/tech/20240906/4e0b1d452c6c48b2a1fa204877cf311d/c.html>.
- [9] 中国民用航空局. 2022 中国民航绿色发展政策与行动 [EB/OL]. (2022-09-25)[2024-06-15]. [https://www.gov.cn/xinwen/2022-09/25/content\\_5711791.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2022-09/25/content_5711791.htm).  
Civil Aviation Administration of China. 2022 China civil aviation green development policy and action [EB/OL]. (2022-09-25)[2024-06-15]. [https://www.gov.cn/xinwen/2022-09/25/content\\_5711791.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2022-09/25/content_5711791.htm).
- [10] “十四五”民航绿色发展专项规划 [EB/OL]. (2022-01-15)[2024-06-15]. <https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/28/5670938/files/c22e012963ce458782eb9cb7fea7e3e3.pdf>.  
14th Five Year Plan for green development of civil aviation [EB/OL]. (2022-01-15)[2024-06-15]. <https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/28/5670938/files/c22e012963ce458782eb9cb7fea7e3e3.pdf>.
- [11] 国家综合立体交通网规划纲要 [EB/OL]. (2021-02-24)[2024-06-15]. [https://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content\\_5588654.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content_5588654.htm).  
Outline of national comprehensive three-dimensional transportation network planning [EB/OL]. (2021-02-24)[2024-06-15]. [https://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content\\_5588654.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content_5588654.htm).
- [12] 中国民用航空局. 智慧民航建设路线图 [EB/OL]. (2022-01-06)[2024-06-15]. <https://www.gov.cn/xinwen/2022-01/21/5669771/files/f7402a57bcf349b0ae8d1224a0f35737.pdf>.  
Civil Aviation Administration of China. Roadmap for smart civil aviation construction [EB/OL]. (2022-01-06)[2024-06-15]. <https://www.gov.cn/xinwen/2022-01/21/5669771/files/f7402a57bcf349b0ae8d1224a0f35737.pdf>.
- [13] Airbus global market forecast 2021—2040 [EB/OL]. (2021-11-13)[2024-6-15]. <https://www.airbus.com/sites/g/files/jlcpta136/files/2021-11/Airbus%20Global%20Market%20Forecast%202021-2040.pdf>.
- [14] Airbus foresees demand for 39,000 new passenger & freighter aircraft by 2040 [EB/OL]. (2021-11-13)[2024-06-15]. <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2021-11-airbus-foresees-demand-for-39000-new-passenger-freighter-aircraft>.
- [15] Federal Aviation Administration. Environment & energy research & development portfolio overview [EB/OL]. (2021-09-15)[2024-06-15]. <https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2022-07/eeSC-Sep2021-Environment%26EnergyResearch%26DevelopmentPortfolioOverview.pdf>.
- [16] NASA low boom flight demonstration (Lbfd) project [EB/OL]. [2024-06-15]. <https://www.nasa.gov/directorates/armd/iasp/lbfd/>.
- [17] Forecast International. Rotorcraft forecast [EB/OL]. [2024-06-15]. [https://www.forecastinternational.com/fistore/prod.cfm?FISSYS\\_RECNO=33&title=Rotorcraft-Forecast](https://www.forecastinternational.com/fistore/prod.cfm?FISSYS_RECNO=33&title=Rotorcraft-Forecast).
- [18] 宋薇薇, 杨凤田, 项松, 等. 氢能飞机研制进展及产业化前景分析 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(5): 192–201.  
Song W W, Yang F T, Xiang S, et al. Development progress and industrialization prospect of hydrogen-powered aircraft [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(5): 192–201.
- [19] Netherlands Aerospace Centre. A route to net zero European aviation [EB/OL]. (2021-11-02)[2024-06-15]. <https://www.destination2050.eu/>.
- [20] Aerospace Industries Association. Horizon 2050: A flight plan for the future of sustainable aviation [R]. Arlington: Aerospace Industries Association, 2022.
- [21] Investment scenario and roadmap for achieving aviation Green Deal objectives by 2050 [EB/OL]. (2022-09-01)[2024-06-15]. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2022/699651/IPOL\\_STU\(2022\)699651\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2022/699651/IPOL_STU(2022)699651_EN.pdf).
- [22] Aerospace Technology Institute. Destination zero: The technology journey to 2050 [EB/OL]. [2024-06-15]. <https://www.ati.org.uk/wp-content/uploads/2022/04/ATI-Tech-Strategy-2022-Destination-Zero.pdf>.
- [23] Aerospace Technology Institute. FlyZero technology roadmaps [EB/OL]. [2024-06-15]. <https://www.ati.org.uk/reports/flyzero-technology-roadmaps/>.
- [24] Jet zero strategy: Delivering net zero aviation by 2050 [EB/OL]. [2024-06-15]. <https://www.gov.uk/government/publications/jet-zero-strategy-delivering-net-zero-aviation-by-2050>.
- [25] 向巧, 胡晓煜, 王曼, 等. 关于氢能航空动力发展的认识与思考 [J]. 航空发动机, 2024, 50(1): 1–9.  
Xiang Q, Hu X Y, Wang M, et al. Observations on the development of hydrogen-powered aircraft propulsion system [J]. Aeroengine, 2024, 50(1): 1–9.
- [26] Zamboni J, Vos R, Emeneth M, et al. A method for the conceptual design of hybrid electric aircraft [C]. San Diego: AIAA Scitech 2019 Forum, 2019.
- [27] Rohacs J, Rohacs D. Conceptual design method adapted to electric/hybrid aircraft developments [J]. International Journal of Sustainable Aviation, 2019, 5(3): 175.
- [28] Spierling T, Lents C. Parallel hybrid propulsion system for a regional turboprop: Conceptual design and benefits analysis [C]. Indianapolis: 2019 AIAA/IEEE Electric Aircraft Technologies Symposium (EATS), 2019.
- [29] Kojima T, Sugahara M, Shirouchi Y, et al. Gradationally controlled voltage inverter for more electric aircrafts [R]. Warrendale: SAE International, 2019.