

## 内容目录

<b>第一章 航空发动机+AI 应用概述</b> .....	<b>3</b>
第一节 AI 是什么? .....	3
第二节 AI 和航空发动机行业有什么关系? .....	3
一、AI 给航空发动机行业带来的变化分析 .....	3
二、AI 给航空发动机行业带来的冲击分析 .....	4
三、AI 给航空发动机行业带来的变革分析 .....	4
<b>第二章 2023-2028 年航空发动机市场前景及趋势预测</b> .....	<b>5</b>
第一节 航空发动机：国之重器，工业皇冠上的明珠 .....	5
一、什么是航空发动机? .....	5
二、航空发动机具有高技术壁垒、研制周期长、经济效益高等特点 .....	7
第二节 航空发动机的格局 .....	8
一、全球航空发动机市场呈寡头垄断格局 .....	8
二、中国航空发动机的发展历程 .....	9
第三节 中国航空发动机市场长坡厚雪 .....	10
一、军用航发：军机数量及代际结构提升空间广阔，新型号丰富产品线 .....	10
二、商用航发：国产商用航空发动机打开第二增长曲线 .....	12
三、航空发动机售后市场价值量大，实战化训练进一步增加维修需求 .....	13
第四节 航空发动机产业链拆分及梳理 .....	14
一、航空发动机产业链总体情况 .....	14
二、原材料 .....	14
三、零部件——航空锻造 .....	15
四、零部件——航空铸造 .....	15
五、零部件——机加工 .....	16
六、控制系统 .....	16
七、整机总装 .....	16
<b>第三章 航空发动机+AI 的应用现状及前景预测</b> .....	<b>17</b>
第一节 为什么众多企业纷纷入局 AI .....	17
第二节 AI 的意义和作用 .....	20
一、AI 对企业发展的实际意义 .....	20
二、智能化改造需求 .....	20
三、AI 为企业创造价值的模式 .....	21
第三节 航空发动机+AI 市场应用情况分析 .....	21
一、人工智能开始发挥实际作用 .....	22
二、人工智能渗透到整个企业中 .....	22
三、借助人工智能快速推进自动化 .....	22
四、利用人工智能获得更大收益 .....	22
五、人工智能战略需要集体的转变 .....	23
六、人工智能触发业务流程转变 .....	23
七、机器学习操作 (MLOps) 成为现实 .....	23

八、企业铺设人工智能通道 .....	23
九、新的业务模式可能出现 .....	24
第四节 2023-2028 年航空发动机+AI 市场发展前景 .....	24
一、AI 给航空发动机行业带来的机遇分析 .....	24
二、AI 给航空发动机行业带来的挑战分析 .....	25
三、2023-2028 年航空发动机+AI 市场发展潜力 .....	25
四、2023-2028 年航空发动机+AI 市场发展前景 .....	26
五、2023-2028 年航空发动机+AI 应用前景预测分析 .....	27
<b>第四章 航空发动机制定和布局+AI 的策略建议 .....</b>	<b>27</b>
第一节 企业如何建立人工智能战略 .....	27
一、专注于战略业务目标 .....	28
二、通过新的、支持人工智能的业务模型产生颠覆性影响 .....	28
三、通过合适的人来执行人工智能战略 .....	28
第二节 人工智能时代下的企业战略分析 .....	29
一、现阶段企业战略管理存在的问题 .....	29
二、人工智能时代下企业战略管理的策略 .....	31
第三节 航空发动机布局 AI 的发展思路及对策 .....	33
一、构建全方位人工智能管理体系 .....	33
二、健全治理制度:建立合规机制与规范行为 .....	34
三、完善治理组织:明确责任归属与岗位分工 .....	35
四、丰富治理能力:结合风险防范与前沿探索 .....	37
第四节 航空发动机+AI 切入模式及发展路径分析 .....	39
一、企业快速部署 AI 的动力非常强大 .....	41
二、AI 成熟度:如何衡量? .....	42
三、不同行业应用 AI 的差距正在缩小 .....	44
四、以传统绩效指标评价, AI 领军者表现非凡 .....	45
五、三一集团:从“聪明工厂”到智造生态 .....	47
六、如何成为 AI 领军者? 五大成功因素 .....	49
七、京东集团:探索 AI 前沿, 沉淀 AI 实力 .....	51
八、从实践到实效, 驱动非凡价值 .....	54
<b>第五章 航空发动机《+AI 应用前景及布局策略》制定手册 .....</b>	<b>55</b>
第一节 动员与组织 .....	55
一、动员 .....	56
二、组织 .....	56
第二节 学习与研究 .....	57
一、学习方案 .....	57
二、研究方案 .....	57
第三节 制定前准备 .....	58
一、制定原则 .....	58
二、注意事项 .....	59
三、有效战略的关键点 .....	60
第四节 战略组成与制定流程 .....	63
一、战略结构组成 .....	63
二、战略制定流程 .....	63

第五节 具体方案制定 .....	64
一、具体方案制定 .....	64
二、配套方案制定 .....	67
第六章 航空发动机《+AI 应用前景及布局策略》实施手册 .....	67
第一节 培训与实施准备 .....	67
第二节 试运行与正式实施 .....	68
一、试运行与正式实施 .....	68
二、实施方案 .....	68
第三节 构建执行与推进体系 .....	69
第四节 增强实施保障能力 .....	70
第五节 动态管理与完善 .....	70
第六节 战略评估、考核与审计 .....	71
第七章 总结：商业自是有胜算 .....	71

## 第一章 航空发动机+AI 应用概述

### 第一节 AI 是什么？

人工智能（Artificial Intelligence），英文缩写为 AI。它是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器，该领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。人工智能从诞生以来，理论和技术日益成熟，应用领域也不断扩大，可以设想，未来人工智能带来的科技产品，将会是人类智慧的“容器”。人工智能可以对人的意识、思维的信息过程的模拟。

### 第二节 AI 和航空发动机行业有什么关系？

#### 一、AI 给航空发动机行业带来的变化分析

人工智能是制造业迈向工业 4.0 和工业互联网时代的重要新兴技术能力。制造业对于人工智能技术的使用正在稳步上升。

在制造业中人工智能不断丰富和迭代自身的分析和决策能力，以适应不断变化的工业环境，帮

助企业在产生大量结构化和非结构化数据的复杂生产环境中更为快速、准确地梳理参数之间的相关性，提高生产效率，优化设备产品性能，具有自感知、自学习、自执行、自决策、自适应等特征。制造业中的人工智能的本质是实现复杂工业技术、经验、知识的模型化和在线化，从而实现各类创新的工业智能应用。

人工智能还能提升用户体验做出贡献，诸如智能客服、智能推荐、精准营销等场景深入落地到各行各业；企业有意在数字人、虚拟 NFT 等数字化营销内容创作领域布局，以创造差异化的营销体验，升级品牌形象。

## 二、AI 给航空发动机行业带来的冲击分析

从技术的行业应用而言，创新应用场景逐步增多。过去一年，中国人工智能应用保持快速发展的势头，行业应用场景较去年也更加深入和细化。除了相对成熟的应用场景之外，物流、制造、能源、公共事业和农业等在人工智能的应用方面得到快速发展，创新应用场景逐步增多。

未来五年，随着人机交互、机器学习、计算机视觉、语音识别技术达到更为成熟阶段，人工智能应用将呈现出如下发展趋势：从单点技术应用迈向多种人工智能能力融合、从事后分析迈向事前预判和主动执行、从计算智能和感知智能迈向认知智能和决策智能，以知识为主要生产工具的创作型工作（如文字、视频、图像和音频创作，软件开发，IP 孵化等）将实现更大程度的智能化；行业企业也将持续创新，拓展数字孪生与人工智能技术的融合应用，推进在能源电力、制造、建筑等行业的发展，构建虚拟工厂、数字孪生电网、数字孪生城市，加强数字与现实世界的连接，优化流程，实现全域管理，决策智能。

人工智能正在加深对实体经济的支持，产生一批成熟应用的场景，包括但不限于人员设备管理、行为预测、供需销售预测等。另外，科学家们越来越多地利用人工智能技术和方法，从数据中建立模型，重点围绕新材料研发等领域加速对前沿科学问题的探究。例如，在材料领域，科学家基于人工智能网络模型和大规模分子数据集，提升分子动力学模拟的极限，以快速、准确的方式预测新材料的特征

## 三、AI 给航空发动机行业带来的变革分析

制造业在人工智能的主要应用场景包括：交互界面智能化、质量管理及推荐系统、维修及生产检测自动化、供应链管理自动化、产品分拣等。IDC 预计，到 2023 年年底，中国 50%的制造业供应链环节将采用人工智能，从而可以提高 15%的效率。这将使企业能够更好地预测市场变化、消费趋势和习惯的变化，甚至是气候变化，进而将预测结果与库存管理相联系，帮助企业努力使库存水平贴近市场需求，促进销售，同时降低成本，把控风险。此外，诸如媒体和娱乐、游戏、建筑等行业

也在加速元宇宙技术的落地和应用，基于人工智能、物联网、智能边缘等技术，满足市场对于多元化、定制化、共情化的体验，改善运营流程，加速学习、分享、创造，产生更大的经济和社会价值。实现元宇宙构想以及物理与数字世界间的互联，需要创建更多的数字资产/数字人，这对计算性能与计算资源提出新的要求。目前元宇宙基础设施的搭建已经开始起步，通过构建能够支持应用落地的人工智能算力基础设施，提升基础平台的支撑力度，为将来满足企业和用户在虚拟环境中的应用需求夯实基础。

## 第二章 2023-2028 年航空发动机市场前景及趋势预测

### 第一节 航空发动机：国之重器，工业皇冠上的明珠

#### 一、什么是航空发动机？

航空发动机被誉为“工业皇冠上的明珠”。航空发动机是飞机的一个核心部件，是为飞机提供飞行所需推力的热力机械。航空发动机不仅是飞机的动力装置，也是航空技术发展的重要推手。航空领域内的重大革命性进展大多与航空动力技术的进步与突破相关。能否研制航空发动机成为衡量一个国家科技水平、军事实力和综合国力的重要标准之一。

航空发动机随航空技术发展不断升级，满足不同飞行场景。从 19 世纪末、20 世纪初活塞发动机的发明和应用使得飞机成功上天；到 20 世纪 40 年代喷气发动机的出现实现了飞机的超声速飞行；再到大涵道比涡扇发动机的出现，大大降低了航空运输成本，实现了过往难以想象的越洋飞行。航空发动机的发展历经百余年，在飞行技术进步的推动下，人类已发明出多种类的航空发动机，向着飞行速度更快、飞行耗油更低的方向不断升级，满足多种飞行场景。从目前航空发动机的分类来看，航空发动机可分为活塞式发动机和空气喷气式发动机两大类。空气喷气式发动机是目前航空器上主要使用的发动机，其可进一步细分为涡轮喷气发动机、涡轮风扇发动机、涡轮螺旋桨发动机、涡轮轴发动机等。

**活塞式发动机：**航空活塞式发动机是依靠活塞在气缸中的往复运动使气体工质完成热力循环，与一般汽车用的活塞式发动机在结构与工作原理上基本相同。活塞式发动机是出现最早的航空发动机，由于其提供动力有限等缺点，被喷气发动机逐步替代。但活塞发动机仍在功率较小的小型发动机上具备一定的油耗低、结构简单、价格便宜等优势，可适用于初级教练机、超轻型飞机、小型飞机等。

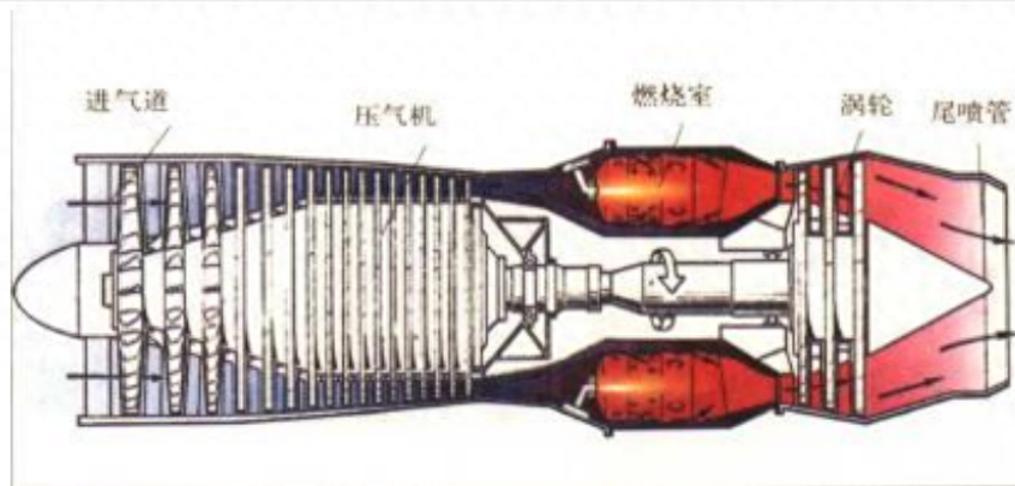
**涡轮螺旋桨发动机：**涡轮螺旋桨发动机的工作原理是螺旋桨旋转时把空气向后排，以此产生向前的推力。涡轮螺旋桨发动机兼具重量轻、耗油功率低的优点。但由于螺旋桨特性的限制，一

般装配的飞机飞行速度不超过 800 千米/小时。涡轮螺旋桨发 动机目前在中小型运输机和通用飞机上仍有广泛应用，而在大型客机和运输机上， 已经被高涵道比涡扇发动机替代。

**涡轮轴发动机：**在工作和构造上，涡轮轴发动机同涡轮螺桨发动机根相近。它们都 是由涡轮风扇发动机的原理演变而来，只不过后者将风扇变成了螺旋桨，而前者将 风扇变成了直升机的旋翼。涡轮轴发动机主要用于直升机上。与活塞式发动机相比， 涡轮轴发动机具有重量轻、体积小、功率大、振动小、易于启动等优点。20 世纪 50 年代中期前，直升机发动机主要是活塞式发动机。到 20 世纪 60 年代后，新研制的 直升机几乎全部采用了涡轮轴发动机作为动力。

**涡轮喷气发动机：**涡轮喷气发动机由进气道、压气机、燃烧室、涡轮、加力燃烧室、尾喷管、附件传动装置与附属系统等组成。由于喷气发动机各部件的工作，流过发 动机的空气流以很高的速度流出发动机，产生的反作用力即为发动机的推力。涡轮 喷气发动机克服了活塞式发动机的主要缺点，使飞机从亚声速进入了超声速飞行新 时代。但是由于涡轮喷气发动机在获得推力时，大量仍具有一定热量、动能的高温 燃气高速排出发动机，导致涡轮喷气发动机经济性差、耗油率高。

**图 6：涡轮喷气发动机简图**



数据来源：《航空发动机——飞机的心脏》，东北证券

**涡轮风扇发动机：**由压气机、燃烧室和高压涡轮组成的核心机和由低压涡轮及其所 带动的风扇共同组成的发动机为涡轮风扇发动机。涡扇发动机在涡喷发动机的基础 上，进一步利用高温燃气的能量驱动风扇转动。涡轮风扇发动机中，空气在风扇中 增压后，由风扇出口流出时分为内涵气流和内涵气流。内涵与内涵空气流量之比称 为涵道比。高涵道比涡扇发动机排气速度、推进效率高，适用于大型远程客机和运 输机；低涵道比涡扇发动机适用于战斗机。

核心机是航空发动机的关键部件。核心机是由压气机、燃烧室和涡轮组成的发动机 核心部

件。研制核心机可以缩短新机研制周期，发展在此核心机基础上的各类航空发动机。在保持某核心机基本参数不变的条件下，可以通过改变风扇、低压压气机的级数和直径，涡轮的冷却和材料等改变发动机的主要循环参数，如增压比、涵道比、涡轮前燃气温度等，则可发展一系列的发动机包括涡轮喷气发动机、涡轮风扇发动机、涡轮螺旋桨发动机、涡轮轴发动机以及地面/舰船用发动机。如通用电气公司在 F101 核心机的基础上发展了推力较小的 F404 发动机，用于 F-5G；F-117 选用不带加力燃烧室的 F404 作为其发动机。

## 二、航空发动机具有高技术壁垒、研制周期长、经济效益高等特点

航空发动机产业具有高技术壁垒的特点。航空发动机产业的高技术壁垒主要体现在以下几个方面：1) 对可靠性要求极为严苛：航空发动机是推动飞机飞行的动力，与地面、水面运输工具动力装置不同，航空发动机一旦出现问题，轻则致使无法完成飞行任务，重则导致机毁人亡的重大事故。2) 发动机工作环境恶劣：发动机主要零部件的工作环境十分恶劣，常常处于高温（最高可接近 2000℃）、高压（几十个大气压）和高速转动（最高可达几万转/分钟）的工作状态。3) 发动机结构和技术情况复杂：与其他机械装置相比，发动机结构非常复杂，零件数目达数十万个。同时，航空发动机的研制是一项涉及空气动力学、工程热物理、传热传质、机械、强度、传动、密封、电子、自动控制等多学科的复杂的综合性系统工程。航空发动机的复杂程度到了目前理论上仍无法给出详尽而准确的描述，只能依靠试验不断反复完善。航空发动机的发展史就是一个设计、制造、试验、修改、再制造、再试验，不断摸索和反复完善的过程。

航空发动机产业具有研制周期长的特点。新型航空发动机全寿命可分为预先研究、工程研制和使用发展 3 大阶段。每个阶段又可细分为若干子阶段，并设置相应的审查点，以控制进入下一研制阶段的风险。1) 预先研究：主要任务是为发展新型发动机提供技术储备，降低研制风险。具体可分为应用基础研究、应用研究和先期技术开发。2) 工程研制：主要任务是根据主要作战使用性能指标，研制满足需求的发动机产品。具体可分为工程验证机研制和原型机研制，研制周期规划为 18 年。3) 使用发展：该阶段是发动机全寿命研制工作的重要阶段，发动机装备使用后仍需持续解决使用中暴露的各种技术质量问题，以提高发动机的使用可靠性。

随着新型发动机全寿命各研究和发展阶段的逐步推进，大部分发动机潜在的故障隐患被排除，发动机技术成熟度不断提高。一般来说，新型航空发动机的研制生命周期为 30 年。

航空发动机产业具有经济效益高的特点。航空发动机产业链条长，且航空发动机的制造需要大量的高端制造设备和精密加工技术，因此航空发动机产业的附加值极高，远超其他产业。根据日本通产省 2002 年的统计报告，按照单位重量价值比计算，以轮船为基准 1，则航空发动机为 1400。此外，航空发动机是典型的高投入高回报产业，一旦有成熟的产品进入市场，将有望享受数十年的持续稳定收益。

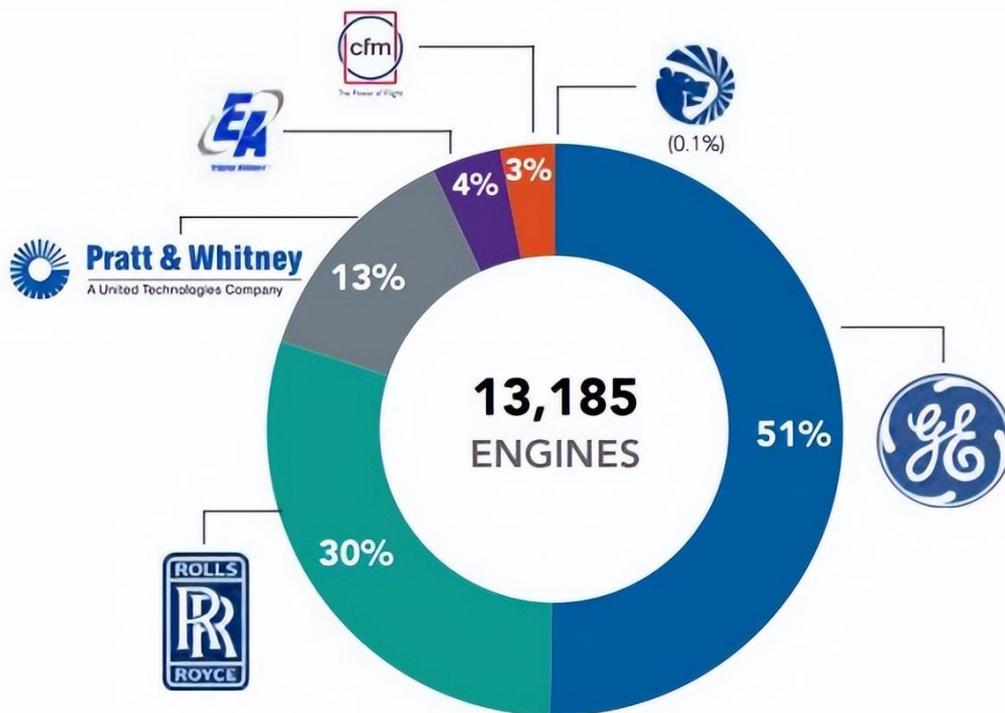
## 第二节 航空发动机的格局

### 一、全球航空发动机市场呈寡头垄断格局

全球航空发动机市场呈现寡头垄断格局。航空发动机产业是国家的战略性产业，掌握其技术的发达国家也严格限制其核心技术向国外出让或转移。航空发动机技术本身的复杂性和高壁垒性，加上技术转移的限制，目前世界上能自行设计研制飞机的国家有几十家，而能够独立研制高性能航空发动机的国家只有美国、英国、法国、俄国、中国等少数几个国家。其中，制造难度更大的商用航空发动机，其市场主要受美国、英国、法国的企业垄断。目前 GE 通用电气航空、PW 普拉特·惠特尼、RR 罗尔斯·罗伊斯、CFM 国际公司、IAE 国际航空发动机公司、EA 发动机联盟公司是商用航空市场的最主要参与者。

从市场份额来看，根据《Commercial Engines》，从供给波音和空客公司的航空发动机市场结构来看，CFM 份额排名第一，且份额从 2020 年的 39%提升至 2021 年的 59%。从全球在役商用飞机发动机市场格局来看，2019 年 5 月在役商用飞行器 25354 个，发动机 52849 个，其中 CFM 在发动机市场中占据份额最高为 44%，GE 次之为 23%，罗罗和 IAE 份额均为 12%左右。CFM 在商用窄体飞机发动机市场占据绝对领先地位，份额达 71%。在商用宽体飞机发动机领域中，主要是 GE 与罗罗双寡头的市场竞争格局，其中 GE 占据一半多的市场份额。在商用支线飞机发动机领域，GE 为绝对龙头，市场份额达到 71%。

## 图 19：2019 年 5 月在役商用宽体飞机发动机格局



## 二、中国航空发动机的发展历程

中国航空发动机的研制之路从最初的仿制、到改型再到如今可以独立设计制造高性能航空发动机。中国是继美国、英国、法国、俄国之后第五个能够独立研制发动机的国家。中国航空发动机的研制之路具体可以分为以下三个阶段：1) 仿制：1956年，我国根据前苏联BK-1φ发动机的技术资料仿制出了国内第一台涡喷发动机——涡喷5发动机，用于国产歼-5战斗机。此后，我国还根据前苏联提供的PII-9B型发动机技术资料研制出涡喷6，根据前苏联提供的PII-300发动机的技术资料研制出涡喷7等。2) 部分自主设计：在航空发动机生产和研制领域积累了一定的经验后，我国开始从仿制向自主设计制造开始转变，如1985年成功研制的涡喷13发动机，满足了歼-8II飞机的研制进度。3) 完全自主设计：从1984年下达研制任务到2022年正式设计定型，“昆仑”发动机历经18年的时间。“昆仑”发动机是我国第一种完全自行设计、研制的国产涡喷发动机，具有完全的自主知识产权，其使用的技术、材料、工艺等完全立足于国内。2005年12月，涡扇-10完成设计定型，我国具备自主设计高性能大推力涡扇发动机的能力。

国内军用航空发动机仍与欧美先进国家存在一定差距，我国正加紧追赶。从性能和研制时间来看，装配在F-15战斗机的F100发动机于1974年服役，推重比8，是第三代发动机的代表产物；装配在F-22战斗机的F119发动机于2002年服役，推重比10，是第四代发动机的代

表。我国涡扇 10 发动机推动比与 F100 相当，于 2010 年服役，较 F100 服役时间晚 36 年；对标 F119 性能的涡扇 15 发动机于 2022 年完成首飞，2023 年开始量产。

民用航空涡扇发动机处于研制阶段，未来有望填补国内空白。目前我国在民用航空涡扇发动机方面仍处于空白状态，与成熟的欧美航空发动巨头相比存在较大差距。我国国产民用航空涡扇发动机正处于加速研制中，2016 年中国航发商发被认定为 C919 国产发动机供应商，2017 年 CJ1000A 核心机完成组装，2018 年 5 月点火启动成功，核心转速达到设计要求，2020 年开始进入地面台架测试阶段。计划装配于 C929 大飞机的 CJ2000 发动机目前正处于研制阶段。

我国发动机研制从“飞机从属”走向“飞发分离”。我国过去的发动机研制体系为“飞机从属”，发动机的研制从属于飞机，即“一厂一所一型号”。一个厂要研制一款飞机，才会有研究所去研发配套的发动机。但往往航空发动机的研制周期远大于飞机研制周期，以型号带预研，导致对先期技术验证重视程度不够，造成型号研制困难。同时，如果飞机项目下马，发动机研制项目也会随之停摆。2009 年，中国航发商发成立，着手研制中国民用航空发动机。2016 年，中国航空发动机集团正式成立，标志着我国发动机研发体系正式转变为“飞发分离”，发动机的研制独立于飞机制造之外，具备更高的灵活性，对我国后续航空发动机的研制具有重要意义。军民开放融合、产业链整合是发展趋势。美国军工产业模式是波音、洛马、诺格等军民两用集团作为主制造商，雷神、霍尔韦尔、普惠、通用等集团提供分系统配套，原材料和零部件的供应则由 TI、ADI 等数千家军民两用企业负责，形成开放协作、专业细分的金字塔型军民融合生态圈。我国过去军用民用是两条线，研制分离，在“两机专项”及中国航发成立之后，我国航空发动机的研制也将走向军民融合。中国航发确定了“小核心、大协作、专业化、开放式”的发展模式，通过开放融合，打通航空发动机的产业链，有助于实现全行业的降本增效。

## 第三节 中国航空发动机市场长坡厚雪

### 一、军用航发：军机数量及代际结构提升空间广阔，新型号丰富产品线

国际安全紧张局势下，军费投入持续增长。国防军费投入是军工产业发展的基础，我国 2023 年中央财政国防预算支出为 1.55 亿元，同比增长 7.1%，高于 2023 年国内生产总值 5.0% 的增长目标。当前国际政治与安全形势日趋复杂，中东地区地缘局势紧张，俄罗斯与乌克兰爆发武装冲突，美国与中国摩擦事件频发。在国际动荡局势下，中国为维护国家安全加强军队建设，军费投入水平有望实现持续较高增长。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/616103222130010133>