

# 航空发动机关键核心技术攻关的组织策略研究

冯南平<sup>1</sup>, 向巧<sup>2</sup>, 沈荣骏<sup>3</sup>, 杨善林<sup>1</sup>, 常文庆<sup>2</sup>, 阮芙蓉<sup>1</sup>

(1. 合肥工业大学管理学院, 合肥 230009; 2. 中国航空发动机集团有限公司, 北京 100097;  
3. 中国工程院, 北京 100088)

**摘要:** 尽快突破航空发动机产业的关键核心技术是保障国家战略安全的迫切需求, 创新力量的有效组织成为关键核心技术攻关实践中亟待解决的瓶颈问题。本文梳理了我国航空发动机科研生产体系中的创新主体构成现状, 剖析了实施协同创新面临的迫切问题; 进一步阐明了航空发动机关键核心技术攻关过程中各主体的角色定位, 涵盖政府、军队、中国航发、专业化维修企业、上/下游企业、高校和科研院所等。研究认为, 统筹安排并科学布局关键核心技术攻关工作、设计相应制度与机制以引导激励各类主体主动对接国家战略、重视需求侧对技术发展的牵引作用、由领军企业主导构建一批面向用户需求与产品问题的创新联合体、以重大项目为载体构建创新生态系统, 由此高效组织各类主体协同攻关航空发动机关键核心技术。

**关键词:** 航空发动机; 关键核心技术; 协同创新; 创新联合体; 举国体制模式

**中图分类号:** C935 **文献标识码:** A

## Organization Strategies of Innovation Forces for the Breakthrough of Key Core Technologies in Aero-Engine Industry

Feng Nanping<sup>1</sup>, Xiang Qiao<sup>2</sup>, Shen Rongjun<sup>3</sup>, Yang Shanlin<sup>1</sup>,  
Chang Wenqing<sup>2</sup>, Ruan Furong<sup>1</sup>

(1. School of Management, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Aero Engine Corporation of China, Beijing 100097, China; 3. Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China)

**Abstract:** Achieving breakthroughs of key core technologies in the aero-engine industry is urgently required for guaranteeing national strategic security, and it demands effective organization of innovation forces. This study first analyses the major innovation forces and their problems regarding collaborative innovation in the current aero-engine scientific research and production system in China. Subsequently, it clarifies the roles of relevant forces in the research process of key core technologies, including the government, the army, the Aero Engine Corporation of China, professional maintenance enterprises, upstream and downstream enterprises, universities, and research institutes. Furthermore, we suggest that the breakthrough practice should be planned and organized in an overall manner, corresponding institutions and mechanisms should be created to encourage the innovation forces to closely align with national strategies, the driving role of the demand side should be emphasized, a number of innovation consortia aiming at user needs

**收稿日期:** 2022-04-28; **修回日期:** 2022-07-12

**通讯作者:** 向巧, 中国航空发动机集团有限公司研究员, 中国工程院院士, 研究方向为航空发动机技术和工程管理;

E-mail: xiang\_qiao@vip.126.com

**资助项目:** 中国工程院咨询项目“航空发动机产业自主创新发展的‘软件’研究”(2020-XY-33)

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

and product problems should be established by leading enterprises, and an innovation ecosystem should be established relying on major projects.

**Keywords:** aero-engine industry; key core technology; collaborative innovation; innovation consortium; national system model

## 一、前言

航空发动机是极为复杂、涉及多学科、集成诸多尖端技术的工程机械系统，其研制水平是国家科技实力、工业基础、综合国力的集中体现。在中国航空发动机集团有限公司（简称中国航发）成立、“航空发动机与燃气轮机”国家科技重大专项实施之后，我国航空发动机自主研制能力取得显著进展，但因绝对难度大、启动时间晚而与世界顶尖水平存在较大差距。

根据 *World Air Forces 2021* 相关数据，在数量上，我国军用飞机不到航空强国的 1/4；在构成上，我国战斗机中的二代机占比超过 45%，而发达国家基本淘汰了二代机。随着我国经济实力的增强与国际地位的提升，一些国家将中国视为竞争对手，相应的国际形势发生明显变化。国防实力是大国博弈的基础和支撑。我国应尽快突破国产航空发动机关键核心技术，促进航空发动机产业链、供应链的自主可控和科技自立自强，以此增强空域控制权并保障国家安全。

关键核心技术指控制同行业技术制高点的技术体系，具有不可替代、不易掌握、难以超越的突出特征 [1]。因基础知识和跨学科知识交叉的极高要求，突破航空发动机关键核心技术需要采取多类创新力量深度合作的形式。例如，涡轮盘技术曾是我国航空发动机发展的难点，中国航发北京航空材料研究院与主机厂所、专业工厂、高校等组成联合攻关团队，以深度合作形式攻克了粉末涡轮盘研制技术难题。然而，创新力量的有效组织是我国关键核心技术攻关实践中亟待解决的瓶颈问题 [2]，相关研究整体上处于起步阶段，如关键核心技术攻关的新型举国体制模式 [2,3]、“产学研”深度融合模式 [4]、创新生态系统模式 [5]、多主体均衡 [6] 等。这些研究成果可为航空发动机关键核心技术突破提供一般性的思路借鉴，也因未能与航空发动机产业紧密结合而欠针对性。

从国内外实践来看，在事关国家发展与安全的重大科学和工程创新领域，较多采取由政府主导并

统筹调配各种力量的关键核心技术联合攻关组织模式，以专业化分工、行业内大协作来取得成功。本文围绕我国航空发动机科研生产体系创新主体及协同问题，梳理航空发动机关键核心技术攻关主体的角色定位并提出有关主体的组织策略，以期对相关行业技术管理与研发布局提供基础参考。

## 二、航空发动机科研生产体系创新主体构成及协同创新问题分析

### （一）创新主体构成现状

经过数十年的发展，我国航空发动机产业已经形成涵盖研发设计、加工制造、运营维修三大环节的科研生产体系。① 研发设计环节分为基础预研、子系统设计、整机集成设计等子环节，参与主体为中国航发系统内单位、航空类高校及相关科研院所。② 加工制造环节涉及原材料、零部件、整机集成等子环节，参与主体除了中国航发系统内单位，还包括系统外企业、科研院所。③ 运营主体主要是军队，维修主体包括中国航发下属维修企业和专业化维修企业。值得指出的是，在推进军民功能结合的背景下，“小核心、大协作，专业化、开放型”思路的科研体系建设逐步深入，吸引了众多民营企业参与航空发动机产业链。民营企业在细分领域精耕细作，实现了产品专精化与差异化，为航空发动机产业发展注入了活力。我国航空发动机科研生产体系的创新主体构成如图 1 所示。

### （二）协同创新存在的问题

航空发动机产品是一类特殊的工业产品，其研制关键不在于掌握某种单项技术，而是综合集成各种技术的能力；关键核心技术攻关不是单一领域的突破，而是各环节领域技术的集体突破，需要各环节主体之间联通顺畅、紧密协同。然而，在我国现行体制机制下，航空发动机科研生产体系中的“管理孤岛”“数据孤岛”“技术孤岛”等现象多见，导致各环节联通不够、整体效能难以实现。

一是科研计划的“管理孤岛”。我国没有成立

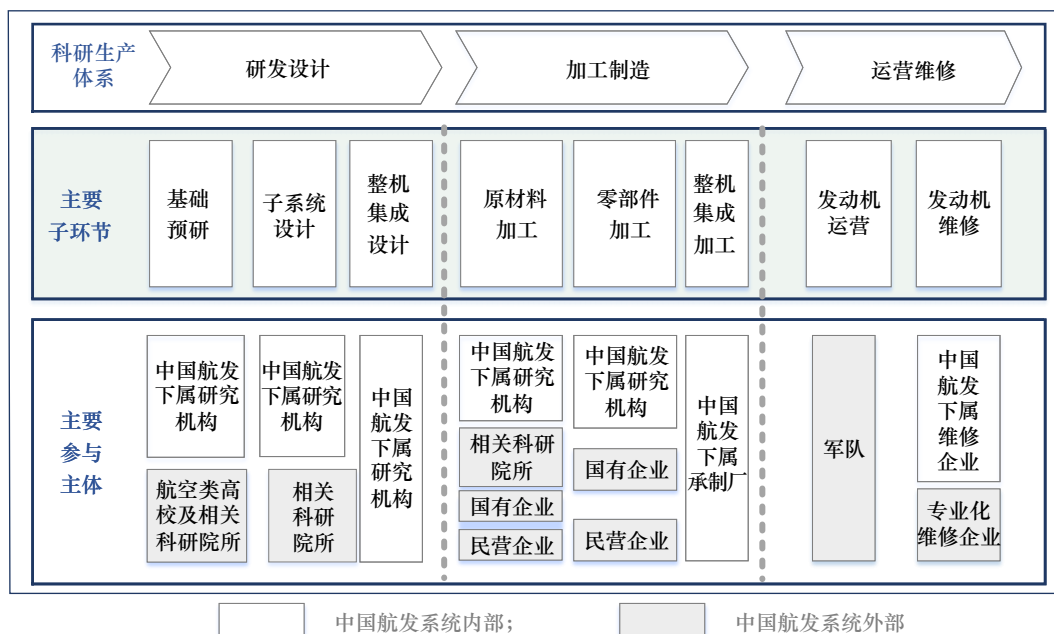


图1 我国航空发动机科研生产体系创新主体构成

统筹管理航空发动机产业创新发展的主管部门，相应监管职责分散在中央政府和军队有关部委。这种“管理割裂”状况容易导致管理部门仅从各自局部出发，而且各部门之间可能存在竞争与博弈，不利于站位全局、统筹全链条来开展科学规划并进行资源供给与协调管理，难以最大程度形成创新合力。

二是主要环节的“数据孤岛”。研发设计、加工制造、运营维修环节的信息共享是各类创新主体高效协同的基础。由于管理体制的原因，目前各环节间的“数据孤岛”现象较为突出。① 研发设计与加工制造环节的“数据孤岛”。我国航空发动机设计与承制厂是分离的，导致设计环节信息与制造环节信息不易及时共享，“设计不了解工艺能力、不掌握工艺过程实现，工艺不了解设计准则、不理解设计意图”等现象时有发生。② 设计制造和维修环节的“数据孤岛”。我国航空发动机研发设计、加工制造环节主要由工业部门（中国航发）承担，而维修保障工作绝大部分则由军队管理的专业化维修企业承担；这就导致维修保障环节长期积累的大量维修数据和专业知识，无法有效反哺型号的改进升级及新研，从而制约了自主研制水平、服务保障能力的提升。

三是科研成果的“技术孤岛”。① 中国航发系统内部的“技术孤岛”。中国航发高度重视科技信息共享与成果转化工作，采取了系列相关措施（如

搭建科技成果信息共享平台，实现科技成果与相关知识产权的信息共享，提供科技成果信息查询、筛选等服务）来推动直属单位成果的自我实施与转化工作；但由于各单位之间业务竞争关系造成壁垒，叠加军工企业严格的保密要求，导致各项研究成果向其他企业和全行业的推广转化率偏低 [7]。② “产学研”之间的“技术孤岛”。尽管中国航发积极推动“产学研”合作并取得进展，但受高校和科研院所科技成果转化激励机制等因素的影响，目前支持“成果对接产业”的体制机制仍不够通畅；高校和科研院所主导的发明、专利、论文等基础研究科技成果，大部分无法与产业需求适配。

### 三、航空发动机关键核心技术攻关的相关主体分析

航空发动机事关国家发展与国防安全，关键核心技术攻关是典型的使命型任务，需要基于举国体制模式统筹并组织产业精锐力量开展协同攻关。航空发动机关键核心技术攻关涉及的主体有政府、军队、中国航发系统内的研发机构和企业、中国航发系统以外的上/下游企业、专业化维修企业、高校和科研院所等。各类主体的主要利益诉求以及在关键核心技术攻关中的角色定位均存在差异性（见图2）。

### （一）政府

政府的利益诉求是保障国家战略安全、增强空域控制权。政府具有很强的统筹协调能力，可供支配的资源广泛，应是航空发动机关键核心技术攻关的组织者和资助者。然而，航空发动机关键核心技术具有高度复杂性，只有在产业实践中不断试错和测试，通过大量经验数据的积累、分析并反馈应用，才能提高性能和可靠性；因此政府还要在应用市场建设方面发挥积极作用，鼓励相关用户使用国产航空发动机，在使用过程中不断驱动关键核心技术的突破提升。

### （二）军队

军队是国产航空发动机的主要用户，相关需求是航空发动机产业发展的重要依据。军队在航空发动机自主创新发展过程中的关键职责之一就是科学提出军事需求、精准牵引产业发展。通常，军队用户要求制造商提供技术先进的航空发动机，追求高的作战性能和高可靠性；应及时采集、科学分析在部队战备训练或者作战使用过程中暴露出的航空发动机问题，及时准确反馈至工业部门，联合研究并提出改进建议，稳妥推动航空发动机的改进/改型及新研。

### （三）中国航发

中国航发是我国航空发动机研制的龙头企业、航空发动机产业链的主导者，肩负着产业自主创新发展的历史使命，同时关注产品商业价值实现。中国航发在研发设计、加工制造、维修保障等环节都承担着重要的主体功能，在整机集成环节更是处于事实上的垄断地位；作为产业领军企业、产业链“链主”，理应较其他主体更清楚产业发展的瓶颈所在。因此，中国航发在产业自主创新发展过程中应积极发挥牵头抓总作用，打造国家航空发动机战略科技力量，引导其他主体围绕关键核心技术创新任务与目标开展协同攻关，发挥产业链融通创新的引领作用。

### （四）专业化维修企业

专业化维修企业是我国航空发动机产业体系中的重要力量，在维修过程中积累了大量的状态数据与故障数据。这些维修数据和知识若能有效反哺到

型号的改进/改型及新研，将实质性促进航空发动机研制水平的提升。当前处于“全面聚焦备战打仗”时期，实战化训练强度的增加产生了大量的航空发动机装备损耗数据，应及时将这些数据反馈到研发设计和加工制造环节。可以参照的是，世界航空发动机强国的产业体系均具有设计制造与维修保障一体化的特征，为主要环节数据的及时共享与融通使用提供了基本保障。

### （五）上/下游企业

按照价值链分工理论，在全球化分工的时代背景下，任何产业的创新发展除了需要大型企业的“牵引”，也离不开上/下游企业的“支撑”[8]。航空发动机产业也是如此，关键核心技术攻关需要中国航发以及航发系统外的、在产业链相关细分领域具有技术优势的“专精特新”企业的高度协同，尽快建立“大型企业引领、专精特新企业推动”的协同技术创新体系。近年来，随着军用航空发动机需求的加速释放以及军民功能结合战略的持续深化，不少优秀民营企业进入了航空发动机领域。鉴于航空发动机整机研制难度极大、风险极高，民营企业多从材料、零部件环节切入航空发动机领域，致力于在航空发动机某些专业方向“精耕细作”；积极承担型号科研生产任务，成为航空动力领域的重要供应商[9]。

### （六）高校和科研院所

高校和科研院所是科学研究的基础力量、人才培养的重要基地，担负着国家公共科技供给的重任，为企业提供创新技术支持。航空发动机的基础研究和关键核心技术攻关主要由相关高校（如西北工业大学、北京航空航天大学、南京航空航天大学、上海交通大学、哈尔滨工业大学、清华大学等）、中国科学院下属研究所（如中国科学院工程热物理研究所等）承担；以发展新一代或新概念发动机为主要研究目标，探索发动机新的工作原理、设计思想、设计概念，新材料、新工艺、新技术，通过试验原理验证、数字仿真等方式验证工程应用前景。高校和科研院所的利益诉求包括社会利益和经济利益两方面，后者指因技术创新产出而产生的直接或间接经济收益。

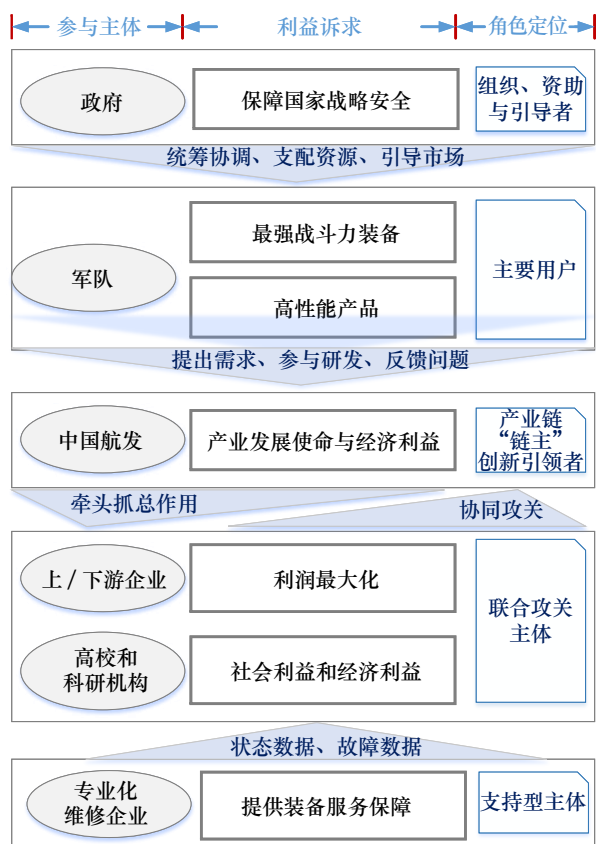


图2 我国航空发动机关键核心技术攻关主体利益诉求与角色定位

#### 四、航空发动机关键核心技术攻关主体的组织策略

军品供应商的认证流程严格且复杂，从预研到最终批产评审往往需要多年时间；一旦通过批产评审，双方会形成长期稳定的合作关系。因此，航空发动机产业的资质、技术、客户转换成本等壁垒较高，直接导致产业体系的供应商竞争格局相对稳定、市场参与主体相对较少。我国航空发动机产业目前仍处于“跟跑”阶段，市场需求较为确定、技术路线较为明确。基于航空发动机产业的属性与特征，政府采取集中力量并进行战略性统筹模式开展关键核心技术攻关，预期成效显著。在现阶段我国航空发动机产业技术范式下，这种组织模式出现信号失真、资源错配的可能性较小，兼具制度合理性和经济合理性 [10]。

为了建立高效的协同攻关机制，政府需要打通现有科研生产体系中的“管理孤岛”“数据孤岛”

“技术孤岛”；基于各类主体的角色定位，激励其充分发挥应有作用，围绕攻关目标构建利益共同体（见图3）。具体而言，政府需要从顶层进行技术攻关的全面统筹与整体布局，通过制度安排与机制设计来引导并激励相关主体的合意行动；通过需求侧市场释放来提供牵引动力，以创新联合体为主要组织形式、重大项目为载体开展协同攻关工作。

#### （一）基于全局观和协同观，统筹安排并科学布局关键核心技术攻关

树立航空发动机产业自主创新发展的全局观和协同观，着眼产业链的融通创新，形成有重点、有梯度、有层次的关键核心技术攻关体系化布局。建议成立全面统筹和管理航空发动机发展的主管部门，系统规划并着力引导关键核心技术攻关工作；站位于全国一盘棋的高度，实现负有监管职责的管理部门联动，与国家各类科技计划进行有效衔接以体现产业链的协同投资。避免重复低效的布局，消除多个渠道对同一技术领域进行重复资助的情况；避免重要技术领域方向出现“断层”“空白”，如航空发动机材料领域在完成基础研究后，若缺乏衔接型号应用的过程技术研究，新材料技术往往会搁置甚至中断；保持关键资源投入的聚焦度，消除平均投入、无目的投入的情况。

#### （二）考虑各类创新主体的差异性利益诉求，设计有效引导和激励各类主体主动与国家战略紧密对接的制度与机制

突破现有政策体系的竞争性思维，转向采用整合性思维，引导各类主体形成对航空发动机关键核心技术协同攻关的科学认知与共识；激发使命感并形成公共利益至上导向，从而为了联合攻关可放弃一定的局部利益，最大程度形成创新合力。建议设置航空动力科学与技术一级学科，设立航空动力国家实验室，全面建设学科人才培养体系，提升优质、高端人才培养的速度与数量；对于航空发动机研制涉及的空气动力学、工程热物理、机械、电子、自动控制等学科，探索实现从基础研究到应用研究再到产业化的贯通，支持和促进跨学科研究；鼓励航空基础科研工作面向国家重大需求，加强论文、专利等研究成果的工程化导向。构建高校、科

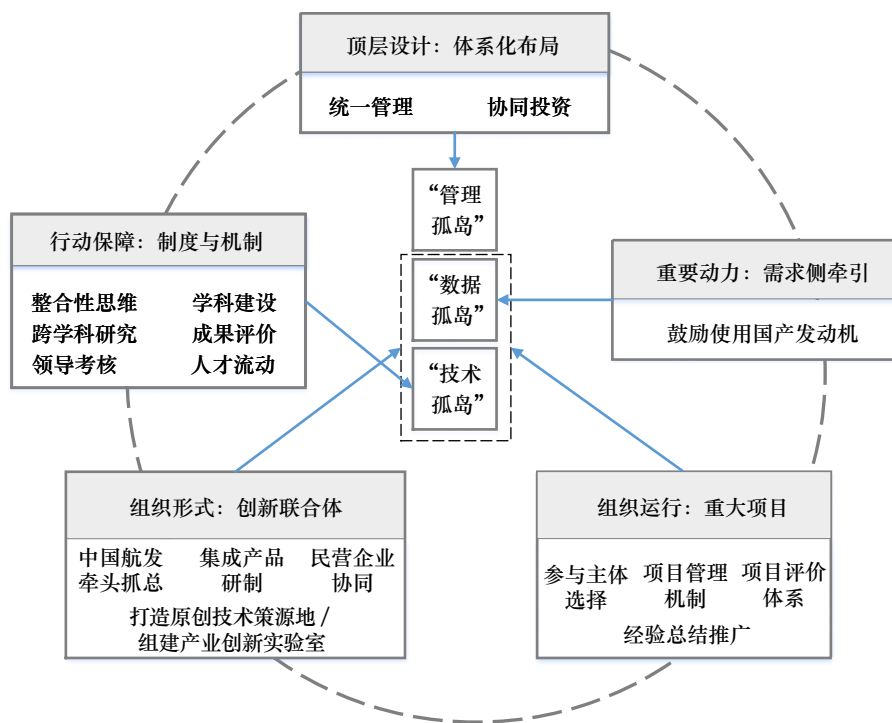


图3 我国航空发动机关键核心技术攻关主体的组织策略

院所与企业之间的人才流动机制，支持科研人员到企业兼职。将国家意志有效施加至企业经营层面，完善企业管理层的考核机制，驱动重视关键核心技术攻关；对于跨任期的项目，注重考核项目支持的连续性；落实尽职免责的宽容失败机制，培育具有企业家精神的战略型管理者 [11]。

### (三) 重视需求侧对关键核心技术发展的牵引作用，鼓励用户使用国产发动机

用户出于发动机性能要求、对国产发动机替代进口发动机可靠性的担忧以及受相关领域发展政策及管理方法的限制，致使我国航空发动机的内需潜力尚未有效转化为国产航空发动机关键核心技术的研发动力 [2]。一般认为，需求侧的牵引作用对于产业关键核心技术研发至关重要，着重体现在两方面：为关键核心技术提供测试、应用场景，在飞行实践中不断试错和测试，积累经验数据以助力性能持续提升；通过产品转化、大规模应用，实现关键核心技术的产业价值。政府应重视需求侧的牵引作用，鼓励用户敢用、多用国产发动机；可参考“航空动力强国”，以立法形式促进国产发动机及其配套产品的扩大使用与迭代更新 [12]。将关键技术突

破、样品规模应用、产业生态培育紧密结合起来，通过需求端的市场释放不断提高核心产品与技术的稳定性及可靠性，根本性保障航空发动机关键核心技术突破。

### (四) 突出领军企业的牵头抓总作用，构建一批面向用户需求与产品问题的创新联合体

行业领军企业是举国体制落地模式中的技术创新主导者 [13]。中国航发作为我国航空发动机科研生产的龙头企业，肩负国家重大使命，拥有丰富创新资源。在关键核心技术协同攻关过程中，应强化中国航发在目标任务确定、攻关组织、成果转化应用等方面的牵头抓总作用；协同高校、科研院所、上/下游企业等，面向用户具体需求与产品具体问题，按照“小核心、大协作，专业化、开放型”架构，建立一批融通互动、紧密协同、合作共赢的“政产学研用”创新联合体；实施以产业化为导向、基础研究与应用研究相融合的协同创新 [14]，构建航空发动机跨生命周期的集成产品研发模式。鼓励中国航发探索构建面向上/下游企业尤其是民营企业的协同机制，实现资源开放、能力共享；支持链上企业在细分技术方向的能力提升，引导其融入由

领军企业引领的创新联合攻关体系。借鉴国内外重大项目的系统工程实施经验，支持重点企业、科研院所联合开展航空发动机关键核心技术攻关；支持中国航发打造原创技术策源地、组建产业创新实验室，促进基础预研到应用研究、应用研究到产业技术的高效转化。

### （五）以重大项目为载体构建创新生态系统，探索项目管理新机制

面向航空发动机关键核心技术攻关的重大项目，是整合全行业资源、构建“政产学研用”高效协作生态、实现产业链融通创新的重要载体 [15]。在重大项目参与主体的遴选方面，注重纳入产业链上/下游具有较强实力的“专精特新”民营企业，从而构建“大型领先企业引领、专精特新企业推动”，关键核心技术攻关使命导向型的创新生态系统。积极探索与之适应的项目管理新机制，为重大项目的高质量实施、技术攻关的可靠推进提供保障。为了避免责任的碎片化、提升相关主体的能动性，应采用专家评估、基础数据监测相结合的方式，建立科学、合理、全面、分级、量化的评估指标体系，据此进行重大项目绩效评价，增强项目成员信任度并确保评价科学及客观性。及时总结重大项目运行过程中的经验教训，完善相应的体制机制，为国家重大项目体系的运行提升提供关键借鉴。

## 五、结语

我国航空发动机关键核心技术的突破需要集中行业优势力量打好攻坚战，实施“政产学研用”各类主体之间的协同，构建分工明确、各有侧重、互补有效的联合攻关组织模式。政府站位于全局层面开展系统规划与科学布局，加强相关制度安排与机制设计，积极采用各种技术创新政策工具来引导攻关体系中各类主体的合意行为。

在航空发动机关键核心技术攻关实践中，如何落地实施提出的组织策略要点，政府又如何通过政策工具组合进行引导，是未来研究的重点内容、产业实践的探索方向。

### 参考文献

[1] 韩凤芹, 史卫, 陈亚平. 以大战略观统领关键核心技术攻关 [J].

宏观经济研究, 2021 (3): 111-119.

Han F Q, Shi W, Chen Y P. Leading key core technologies tackling key problem with a grand strategic view [J]. *Macroeconomics*, 2021 (3): 111-119.

[2] 张于喆. 建设科技强国亟需集中力量打好关键核心技术攻坚战 [J]. *宏观经济研究*, 2021 (10): 75-89.

Zhang Y Z. Building a powerful country in science and technology needs to concentrate efforts on key and core technologies [J]. *Macroeconomics*, 2021 (10): 75-89.

[3] 罗军, 侯小星, 陈之瑶. 央地联动发挥新型举国体制优势开展关键核心技术攻关研究 [J]. *科技管理研究*, 2021, 41(23): 48-55.

Luo J, Hou X X, Chen Z Y. Research on the core and key technologies: New national system organized in the mode of the central-local linkage [J]. *Science and Technology Management Research*, 2021, 41(23): 48-55.

[4] 张羽飞, 原长弘. 产学研深度融合突破关键核心技术的演进研究 [J]. *科学学研究*, 2022, 40(5): 852-862.

Zhang Y F, Yuan C H. Study on the evolution mechanism of breaking through key core technologies through industry-university-research deep integration [J]. *Studies in Science of Science*, 2022, 40(5): 852-862.

[5] 谭劲松, 宋娟, 王可欣, 等. 创新生态系统视角下核心企业突破关键核心技术“卡脖子”——以中国高速列车牵引系统为例 [EB/OL]. (2022-03-16)[2022-06-18]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1288.f.20220311.1333.002.html>.

Tang J S, Song J, Wang K X, et al. Breakthrough of key core technology “neck-jamming” by focal firm from innovation ecosystem perspective: A case study of Chinese high-speed train traction system [EB/OL]. (2022-03-16)[2022-06-18]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1288.f.20220311.1333.002.html>.

[6] 彭莹, 郭本海, 曹晓晓. 产业核心技术突破的多主体多级均衡问题研究 [J]. *运筹与管理*, 2021, 30(5): 232-239.

Peng Y, Guo B H, Cao X X. Research on multi-agent and multi-level equilibrium problem of industrial core technology breakthrough [J]. *Operations Research and Management Science*, 2021, 30(5): 232-239.

[7] 黄睿, 吴颖, 汤琳, 等. 航空发动机科技成果转化初探 [J]. *航空动力*, 2021 (4): 70-72.

Huang R, Wu Y, Tang L, et al. Discussion on transformation of scientific and technological achievements of aero engine [J]. *Aerospace Power*, 2021 (4): 70-72.

[8] 苏敬勤. 重视中小制造企业在解决卡脖子技术中的关键作用 [J]. *中国科技论坛*, 2020 (6): 7-9.

Su J Q. Attach importance to the key role of small and medium-sized manufacturing enterprises during the breakthrough of the “neck sticking” technology [J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2020 (6): 7-9.

[9] 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, 37(6): 55-59.

Zhang Y Z, Wang H, Zheng T F. Research on building China into a strong aviation country from the perspective of value chain [J]. *Scientific Management Research*, 2019, 37(6): 55-59.

[10] 刘建丽. 百年来中国共产党领导科技攻关的组织模式演化及其制度逻辑 [J]. *经济与管理研究*, 2021, 42(10): 3-16.

- Liu J L. One-hundred-year evolution of organization mode and its institutional logics of scientific and technological breakthroughs under the leadership of the Communist Party of China [J]. *Research on Economics and Management*, 2021, 42(10): 3–16.
- [11] 陈劲, 朱子钦. 关键核心技术“卡脖子”问题突破路径研究 [J]. *创新科技*, 2020, 20(7): 1–8.  
Chen J, Zhu Z Q. Research on the breakthrough path of the problems “blocking the neck” of key core technologies [J]. *Innovation Science and Technology*, 2020, 20(7): 1–8.
- [12] 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.
- [13] 陈劲, 阳镇, 朱子钦. 新型举国体制的理论逻辑、落地模式与应用场景 [J]. *改革*, 2021 (5): 1–17.
- Chen J, Yang Z, Zhu Z Q. The theoretical logic, implementation mode and application scenario of the new type of national system [J]. *Reform*, 2021 (5): 1–17.
- [14] 余义勇, 杨忠. 如何有效发挥领军企业的创新链功能——基于新巴斯德象限的协同创新视角 [J]. *南开管理评论*, 2020, 23(2): 4–15.  
Yu Y Y, Yang Z. How to promote the effective play of the leading enterprise’s innovation chain: A synergy innovation perspective based on the new pasteur quadrant [J]. *Nankai Business Review*, 2020, 23(2): 4–15.
- [15] 张于喆, 张铭慎, 郑腾飞. 构建新型科技创新举国体制若干思考 [J]. *开放导报*, 2021 (3): 36–47.  
Zhang Y Z, Zhang M S, Zheng T F. Thoughts on constructing new national system of science and technology innovation [J]. *China Opening Journal*, 2021 (3): 36–47.