

航空发动机基础研究体系建设的思考

Constructing the Basic Research System of Aero Engine

■ 李建榕 弓志强 李博 / 中国航发研究院

我国航空发动机产业起步于测绘仿制，所涉及的基础研究大多是被动依托型号推进，基础性研究与前瞻性研究方面的薄弱，致使发动机研究技术储备不足。目前，随着国家“两机”专项的开展，基础技术研究受到前所未有的重视。在国家极为重视和大力支持的环境下，如何构建完善的航空发动机基础研究体系是我们需要认真思考的问题。

基础研究体系建设的必要性

基础研究是科研活动的前端和源头，是关键技术预研和工程型号研制的前提和条件。

新中国航空工业发展60多年来，在航空发动机基础研究领域开展了大量的研究工作，取得了一定的成绩，基本支撑了现有项目和型号的研究，但不可否认的是，航空发动机基础技术研究工作尚不能满足航空发动机自主创新发展的要求，依然存在很多需要探讨的问题，主要表现在以下四个方面。

一是对航空发动机关键技术研究、前沿和基础技术研究的总投入仍显不足，技术储备匮乏，以自主创新为核心的航空发动机研发体系还在形成过程中，尚不能实现科技创新驱动装备建设的发展模式。当前，基础研究内容不能很好地契合我国航空发动机自主研发最迫切的技术需求以及未来的发展趋势，研究内容分散，不够系统，容易出现相互重叠或空白区域，导致一些研究课题在不同管理领域重复研究，而一些重要的技术需求却一直得不到项目支持。

二是基础研究管理体系复杂，管理效率有待提高。航空发动机行

业顶层缺乏一套系统、完善的项目管理流程和标准，技术管理的系统性、延续性差，缺乏从研究需求梳理、到项目分解、到项目过程管理、再到成果转移应用的全流程、一贯性、稳定性的管理。研究过程中缺乏对项目的跟踪、协调，对最终的研究成果缺乏完善的考评机制，成果的经验验证不足，转移应用比例偏低。

三是基础研究试验设施布局较为分散，不能全方位地满足航空发动机基础研究的需求，尤其是缺乏将基础研究与关键技术研究从技术成熟度上衔接起来的试验条件，且

存在一些试验设施利用率低以及部分设备重复建设的现象。

四是国内航空发动机行业高水平人才短缺，研究人员数量少，行业院士寥寥可数，各研究所科研人员比例低，基础技术研究人员分散，凝聚力不足。

以上诸多因素影响了我国航空发动机基础研究的发展和技术创新能力的提升，急需探讨完善符合航空发动机发展客观规律的基础研究体系。

基础研究体系的构想

基础研究体系是以基础研究管理流

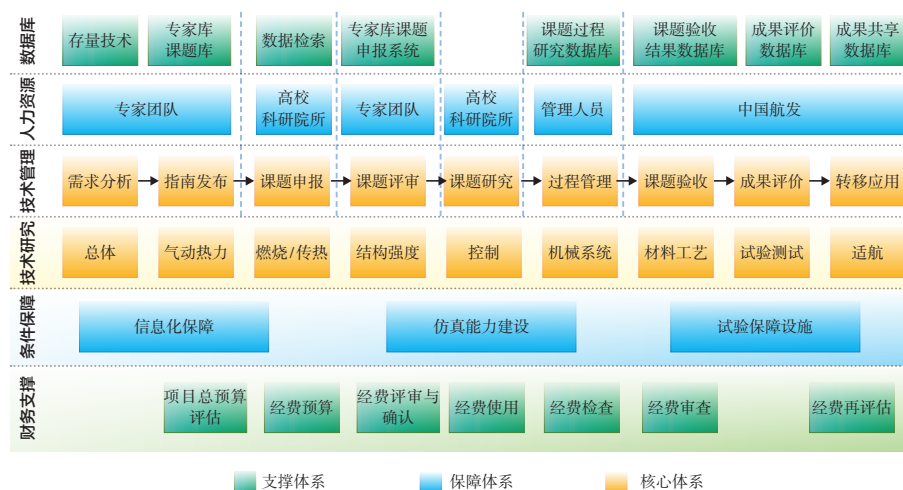


图1 基础研究体系总体框架

程为牵引的各类要素的集合，如图1所示，包括技术研究体系、技术管理体系、人力保障体系、条件保障体系、财务支撑体系和数据库系统，支撑基础研究从需求分析到技术转移全生命周期的所有业务活动。通过各系统的运行，交叉支撑，得以规范开展和全程记录。

基础研究体系是以基础研究管理流程为牵引的各类要素的集合（如图1所示），包括技术研究体系、技术管理体系、人力资源体系、条件保障体系、财务支撑体系和数据库体系，支撑基础研究从需求分析到技术转移全生命周期的所有业务活动。

技术研究体系

技术研究体系的两个核心是基础研究各专业/学科发展和基础技术研究体系运行管理模式。

各专业/学科发展

专业/学科的设置和发展，以基础研究需求为牵引，重点突破当前航空发动机研制生产急需的关键技术，开展符合航空发动机发展趋势的预先研究，集中资源有的放矢。

航空发动机基础研究专业/学科

的设置，应当围绕航空发动机设计、制造、试验、使用全生命周期、全流程、全要素来设置，既要包含航空发动机系统和各部件所涉及的热力学、空气动力学、固体力学、燃烧学、传热学、控制学等学科，也应当包含材料、制造工艺、试验测试、仿真方法、计量技术等共性基础技术和适航、标准、情报等技术基础专业。同时也应当充分利用其他相关行业、领域的技术基础，突出重点，有所为有所不为。

各专业/学科的发展规划应当以航空发动机产品和技术发展规划为牵引，并结合各自专业/学科的技术发展趋势，形成需求牵引和技术推动相结合的发展思路。从我国航空发动机发展现状来看，需求牵引包含两个方面的内涵：一是夯实基础的需求，目的是填补开展自主研发所欠缺的基础性方法、工具、数据短板，建立功能较为完善的正向研发体系，满足行业基本需求；二是支撑发展的需求，目的是实现研发体系的持续发展进化，使其能够满足当前乃至下一代航空发动机产品研制的要求。技术推动则是以各专业/学科的前沿发展方向为主，为未

来更先进的航空发动机提供知识和技术储备。

基础技术研究体系管理运行模式

基础技术研究体系的运行在目前各高校、企业中的技术研究运作基础上，尝试一下新的运作模式。

联合技术研究中心 为了保持创新活力，充分利用外部资源，项目需求单位以联合技术研究中心（UTRC）的形式，在高校、科研院所、其他企业等相关机构中，选择优势单位，建立相对稳定的战略合作关系，实现从基础研究到转移应用的全过程，共同开展技术研究，如图2所示。

联合技术攻关平台 针对产品研制或预研项目研究过程中出现的紧迫性技术问题，以项目的研究院所和企业为主搭建联合技术攻关平台（UTRP），组织行业内外的相关专家组进行联合攻关，如图3所示。

打造全行业协同的创新基地 充分利用高校、中科院所等科研机构、各行业研究机构、军方研究所、企业等相关单位的科研力量，以新型举国体制开展基础研究工作，建立“小核心、大协作、专业化、开放式”的协同创新机制，将全社会的优势力量集中到航空发动机的基础研究

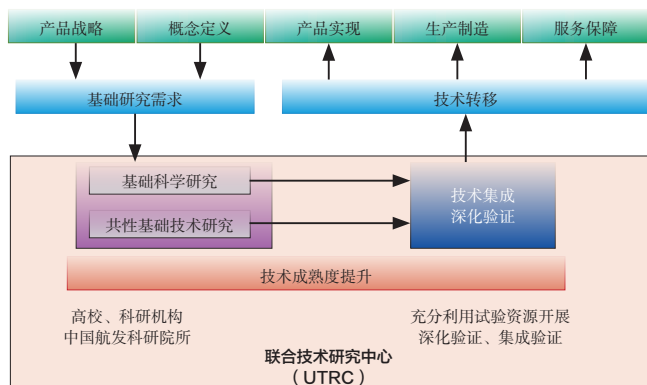


图2 联合技术研究中心管理模式

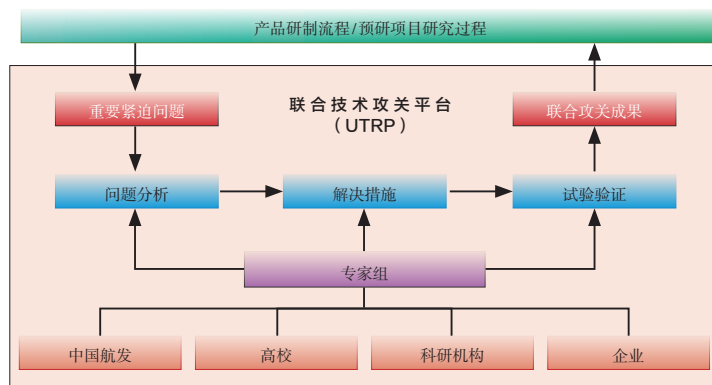


图3 联合技术攻关平台管理模式

需求上来。同时，要积极拓展国际合作渠道，建立全球技术与人才获取网络。

建立面向全社会开放的基础技术网络平台 围绕基础研究全生命周期数据管理与服务能力提升，利用互联网技术和众创、众包等新理念，发挥社会优势力量，共同参与到技术开发与研究过程中来，建立航空发动机基础技术网络平台。

技术管理体系

技术管理体系的核心是针对航空发动机基础研究所形成的科研项目，建立全生命周期的项目管理流程和方法。项目管理是以项目为对象的系统管理方法，运用科学经济的方法对项目进行高效率的计划、组织、指导和控制，使项目在时间、费用和技术效果上达到预期目标。项目管理贯穿于项目的整个生命周期，对项目的全过程进行动态综合协调与优化。

基础研究项目管理流程如图4所示。

需求分析

针对航空发动机基础研究项目，在研究开始前，项目的立项要注重需求牵引，鼓励原始创新。为此，在组织项目立项之前，进行相关需求分析研究工作是很有必要

的。需求分析的主要目的是通过调查研究，基本摸清该领域的发展需求、当前国际、国内发展现状、技术发展趋势、技术发展要求等一系列基本情况，为该领域相关项目的立项提供比较全面、系统和带有前瞻性的指导。除此之外，还要将分析工作和科技成果转化情况相结合，在分析需求时即注重研究成果可转移应用的程度。

指南发布

在指南的编制和发布环节，应首先发布“需求”，由各高校、科研院所等机构，以需求为出发点，结合本单位的科研能力，完成指南的编写工作。之后，组织行业专家对指南进行评审，根据与需求的符合程度对指南进行筛选和排序，以确保指南内容能够满足需求，并优先保证需求更加急迫的指南进行发布和立项。

项目确立

在立项评估过程中，对不同价值导向、性质特征的基础研究项目应当分门别类设立评价原则和评价指标，建立量化的评价体系和相对统一的评价标准。通过这样的评价体系，使参与立项评审的专家能够根据已设定的评判维度客观地审视被评审项目的具体情况，从而做出相对科学规范的评价。

课题研究与验收

在研究过程中，要强化对研究过程的监控。除了在特定的时间节点上进行中期评估外，还可以学习西方发达国家为每个项目配置一名技术经理。技术经理从技术层面在项目研究过程中对项目进行跟踪，以定期研讨、检查等方式了解项目进展，保证项目实施进度；积极协调，协助项目承担方解决研究中存在的困难；适时纠偏，确保最终的研究成果符合课题要求。技术经理除了对项目的进度和质量进行监督把控外，还要对项目存在的风险进行预测、识别、评估，并协助项目承担方规避或应对风险。

成果转移

研究结束后，要强调转移应用与成果共享。为此，首先要建立完善的成果考评机制，从项目成果所产生的技术效益、经济效益、社会效益和发展潜力等方面对创新成果进行综合评价，使成果的水平和价值之外，还应设立技术转移的资金投入机制，对产生良好效益的科技创新成果，在行业内大力推广应用，加大科研成果的转化力度。同时，也可以通过申请专利等知识产权保护机制，以及设立成果有偿转移机制和共享机制，在社会上加以推广，从而获得更大的效益。

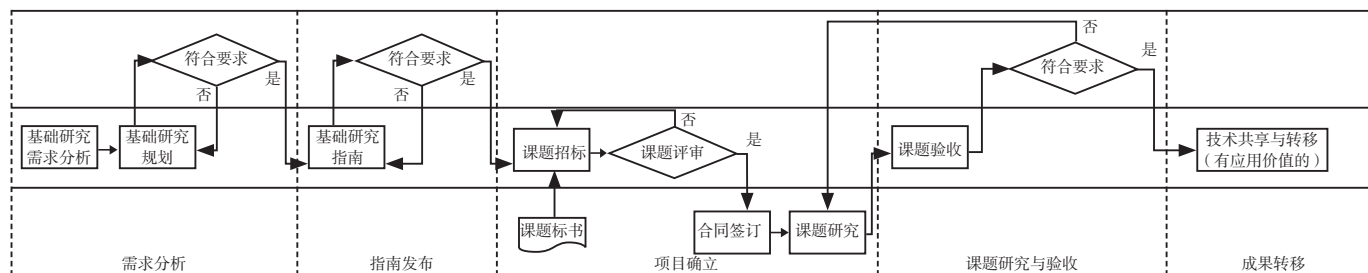


图4 航空发动机基础研究项目管理流程

条件保障体系

基础研究的条件保障体系建设主要包含信息化平台建设、试验设施建设和仿真能力建设三方面。

基础研究体系信息化平台建设

搭建基础研究体系信息化平台，可以有效强化跨地区和跨单位的业务协同能力，实现对研究成果的有效归集和知识提炼，加强成果共享。如图5所示，基础研究管理平台由项目管理系统（MPM）、知识管理系统（PDM）、试验管理系统、人才管理系统四个系统组成。

项目管理系统对所有已存在的项目（包括历史项目及在研项目）提供项目及其相关成果、设备、人员等重要信息的记录、查询、检索功能，即项目数据库功能。除此之外，对于在研项目，项目管理系统提供贯穿项目全生命周期的管理工具，协助技术管理体系的实施。

知识管理系统对基础研究项目全生命周期内产生的所有研究成果（报告、软件、论文、专利、技术文件等）及管理文件（指南、项目书、合同、规章制度等）进行归档，并提供相应的检索以及跨单位的成果共享功能。同时，知识管理系统还将集成文献数字图书馆功能。在成果归集达到一定规模后，还可以选择开发基于大数据分析的智能分析模块，进一步强化成果知识的归集与提炼。在项目管理过程中，知识管理系统为项目的论证与评审工作提供必要的数据库支撑。

试验管理系统记录国内已建成并投入使用的、正在建设的或计划建设的航空发动机基础研究试验设备的具体信息，并提供实时的查询与预约功能。在项目管理过程中，

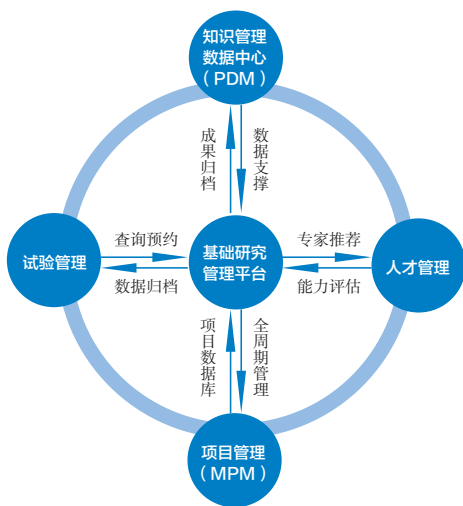


图5 基础研究体系信息化平台架构

试验管理系统为项目的论证与评审工作提供必要的数据库支撑。

人才管理系统记录国内航空发动机相关专业基础研究的科研人员、管理人员的基本情况信息，包括职称、所属机构、历史参与项目、联系方式等。除此之外，人才管理系统还根据完成科研项目情况，形成人才能力后评价的记录，为跨地区、跨单位的信息交流提供平台。在项目管理过程中，人才管理系统为项目的各阶段评审工作推荐相关领域的专家组成评审专家组。

试验设施建设

全面分析已有试验设施基础上，针对缺失和缺少的试验设备开展统筹建设。首先要做到需求牵引，统筹规划，建立完整的试验设施体系，全方位地满足航空发动机基础研究的需求。其次，试验设施的建设应该分步实施，重点突出，根据各单位学科优势，各有侧重。第三，在试验设施的全国布局方面能够做到全国一盘棋，不同研究机构之间能够开放设施共享，协同创新。

仿真能力建设

在仿真能力建设方面，除了搭建高性能的计算环境外，还应该注重仿真工具、软件的开发，以及仿真工程的应用等。首先，高性能计算环境建设中，既要保证各单位具有一定的高性能计算能力，又要考虑全行业布局的统筹与协调。其次，关注仿真软件工具的自主开发与商用软件的二次开发，真正实现软件应用的自主可控。

人才队伍建设体系

在人才队伍建设方面，对于现有的人员，首先要做到存量人员最大化利用，基于项目建立项目集成团队（Integrated Program Team, IPT），包括高校、科研机构、企业，国际合作等优势力量，打破单位界限，分工明确，信息共享、资源共享，联合开展研究。

在后续人才培养方面，要做到培养模式多元化，以基础研究项目为牵引，积极与国内外高校、科研机构建立多元、灵活的人才培养模式，共同制订、实施人才培养合作计划，培养既具有扎实理论功底，又具有工程实践经验的高水平人才队伍，增强基础研究的能力。

结束语

航空发动机的基础研究为技术研发和型号研发提供关键性的基础技术，一款成功的航空发动机从研发到制造都需要以雄厚的基础研究为基础，而这正是我国目前所缺失的，也正是我们急需建设研究体系的意义所在。

航空动力

（李建榕，中国航发研究院党委书记、总研究员，主要从事航空发动机设计研究。）