

航空发动机技术研究与产品研制互锁机制研究

Interlocking Method for Aero Engine Technical Research and Product Development

谈梦妮 邱明星 谷艳萍 隋岩峰 / 中国航发动力所

航空发动机技术研究固有的不确定性会导致产品研制“拖、降、涨”风险增高。为了降低这些风险，技术研究必须在技术规划制定、研究过程分层开发、审视对齐、技术成果迁移的全过程与产品研制互锁，为产品研制保驾护航并提供支持。

航空发动机产品研制过程中，时常伴随着大量的技术研究攻关，而技术研究固有的不确定性，可能导致支持产品研制的关键技术成熟度（TRL）无法按节点达到应用要求，从而带来产品研制进度拖延、指标不达标以及项目的设计、制造和验证费用激增的风险。此外，现有航空发动机技术研究项目的申报多数为被动牵引，资助方向与实际产品研发需求契合度不高，从而导致技术与产品研制的节奏不匹配，技术成果的应用效果不佳，使得有限的人力、试验资源未能产生最大的效能。为保证航空发动机技术研究对产品研制的支撑作用最大化，本文引入航空发动机技术与产品研制互锁的理念，从技术规划拉通、研究过程分层开发、审视对齐、成果迁移等方面阐述具体举措，力求使技术研究成果发挥最大效能，为产品研制提供充足可用的货架技术。

互锁机制的内涵

技术与产品研制清晰的业务分层，使各层次业务能够独立运作，并基于不同业务的本质各自拥有明

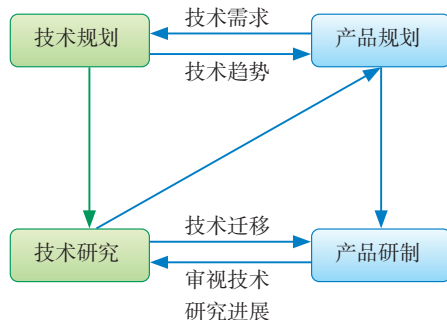


图1 技术与产品研制的互锁示意

确的管理模式，从而降低技术与产品研制之间的影响，有效提升企业内部业务管理效率。互锁机制建立在技术研究和产品研制的异步开发基础之上，通过在规划、开发过程中的互锁，使两者发生关联性作用，确定好异步层的相互配合关系，以确保提前做好准备，满足技术对产品的支撑关系。

技术和产品研制的互锁机制主要体现在各自规划和开发过程中的信息传递、分层开发和过程评审中，如图1所示，从产品规划中分解出的技术需求落实到技术规划中，从源头上保证二者的强相关，确定将要开展的技术研究是正确的和及时的，技术规划辅助产品规划确定；在技术研究过程中，产品

研制需要适时参与到技术开发的阶段过程评审审查中，从产品的视角对技术开发进展进行评估，及时调整、补充产品规划及开发策略；按照TRL对技术研究进行分层开发，开发成果通过技术迁移应用到产品研制之中，全面支撑产品研制，确保其有成熟的技术可以使用，缓释产品研制“拖、降、涨”的风险。

技术规划确立

技术规划对于开展技术研究具有重要意义，对于产品研制也将产生深远的影响。航空发动机是一个极其复杂的技术综合体，随着性能的不断提高，涉及的技术门类越来越多，耦合关系也越来越复杂，所需投入的人力、物力等资源也极其浩大，为此选准技术方向非常重要，如果技术规划中的技术需求确定不好，不但浪费有限资源，而且会限制航空发动机产品研制的发展脚步。在航空发动机技术规划中，常会出现由于规划内容基于经验，缺少前瞻性和准确性，并与立项指南脱节，导致实际的技术立项、技术与产品规划无法对应，落地实施效果不好；现行航空发动机技术研究部

分是由产品研制项目需求牵引，技术研究的不确定性，造成产品研制存在无技术可用的现象，即技术与产品发展路线脱节，导致开发的技术成果不能充分满足型号研制的需要。这就要求在技术规划制定时权衡产品研制需求和资方需求，从而确保技术规划的落地实施和技术研究成果的转化应用。

与产品规划的互锁

技术规划应重点关注产品以及市场对技术发展和技术研究的需求，根据产品研制目标进行技术的识别和分析，并给出相应的研究策略。技术规划包含识别当前的关键/核心技术、分析技术对产品研制目标达成的影响、搜集/分析行业技术发展趋势、识别技术研究短板及相应的风险、判断技术的迁移节点、分析技术的获取方法、评估技术获取的投入等多项内容。

确保产品研制前技术就绪的先决条件包括：在航空发动机产品研制之前，各项技术已经过充分验证，各相关技术之间的耦合关系明确，技术成熟度达到要求，技术准备就绪；产品研制启动时只需对这些技术进行选择，匹配最佳组合，重点解决技术集成验证中出现的问题；技术规划中确定的技术需求，产品规划中确定的产品研制战略，外部客户的投资方向应是一致的，是相互拉通、对齐的。

航空发动机技术规划中出现的可执行性差、作用有限的主要原因是规划的技术研究项目与产品研制的需求不相符，成果应用率不高，从而导致了恶性循环。这就要求技术规划一方面严格对齐装备研发需求，另一方面还要有前瞻性。将产

品规划作为技术规划的主导输入，牵引技术需求，并严格按照技术规划开展技术立项与技术研究。

与客户精准对接需求

分析各类外部基金项目研究，综合技术和产品发展需求，精准契合项目指南的研究内容要求。建立与基金主管机构常态的沟通途径，通过拜访、专题交流、联合创新等方式与用户进行互动交流，保证战略方向、客户需求捕获的及时性与精准性，保证技术项目申报与客户需求节奏的匹配，有计划地导出技术发展方向，及时获得确认，并纳入项目研究规划。只有与客户充分地沟通、交流，并分步展示实施结果，才能逐步获得认可和信任度，提升影响力。

技术识别能力的积累

有的技术规划长期处于被动状态，前瞻性的技术洞察不够。技术项目主要解决在研产品的技术问题，面向未来技术储备的技术项目占比太低，未形成对技术发展趋势及其节奏

的精准把握。应通过对航空发动机技术发展的洞察分析，持续积累建立技术发展路线图，确定关键/核心技术，体现当前的技术水平、业界最高水平、领先方向、未来一段时间的预期水平，以及技术的溯源、技术特征、技术结构、技术难点等信息，呈现领域的技术全貌。分析产品规划中产品需求的变化、指标的提升情况，评估现有技术储备，寻求可行的技术途径。

技术研究过程

延续技术规划中对技术研究项目的分梯次原则，将技术研究分为基础研究、应用研究、先期技术开发3个层级，分别验证单点技术、多技术集成在零组件、部件/子系统、核心机/技术验证机上的功能、性能实现情况，逐层收敛技术方案，多梯次、分层达成目标支撑（见图2），降低对产品研制支撑的风险。

根据航空发动机的研究特点，明确3个技术研究层级的目标和载体，在分类定义过程中，其技术成

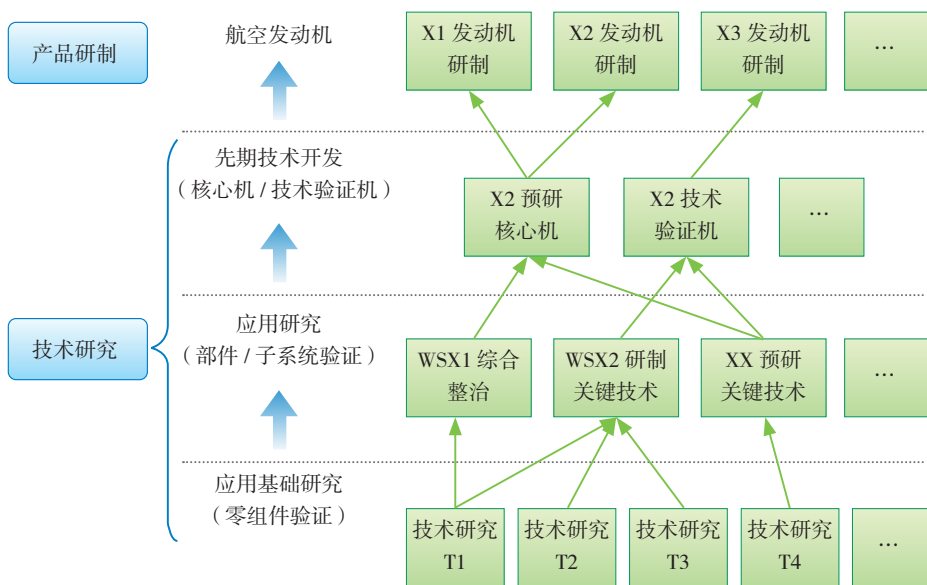


图2 技术研究的分层支撑示意

表1 技术研究项目分类

	研究内容	TRL	技术载体
基础研究	通过开展探索新思想、新概念、新原理、新材料、新工艺等研究活动，为探索新型航空发动机提供理论依据和基本知识	1 ~ 3	零部件
应用研究	运用基础研究或者其他科学研究的成果，研究新思想、新概念、新原理、新材料、新工艺应用于航空发动机的可行性与实用性，确定其主要参数，消除产品研制中关键技术的不确定性	3 ~ 4	部件、子系统
先期技术研究	瞄准未来新产品型号，按照发动机的整体架构，由多个部件/子系统集成，研究部件之间的相互影响和匹配性，用于整机/核心机条件下的功能、性能的关键技术突破验证	5 ~ 6	核心机、整机

熟度如表1所示。

在技术研究中，根据各类研究项目的特点，确定显性化的研究流程，尤其是应用研究和先期技术开发类技术研究项目，与产品研制策略的直接关联性强、影响较大，在流程中设立审查点，由相关的产品规划或研制团队在技术方案完成时，审视技术研究的进展，根据技术突破的程度和开发速度，及时调整产品策略，从而实现技术研究过程与产品规划及研制协调一致。

在应用研究中，通过在应用对象上模拟真实部件/子系统工作环境，来明确各项技术之间的影响和关联。

先期技术开发是瞄准未来新型产品，按照发动机的整体架构，由发动机完备的部件/子系统集成，开展整机/核心机条件下的各项关键技术的集成和验证，验证整机/核心机的功能、性能。

团队内部完成方案设计评审后，邀请在技术规划中确定的、技术研究所对应的航空发动机产品研制的相关规划或设计人员来参与计划决

策（PDPC），审视技术研究的初步结果和发展方向，评估其与预定技术需求的达成情况。若不能达到理想目标，确定是否中止技术研究项目，从而避免更大的人力、试验资源损失和经费浪费；若技术研究进展超出预期，则考虑是否调整产品研制策略，提升在研产品相关指标或开发新的产品规划。

成果迁移

理想状态下，技术研究成果可直接应用到产品研制中，但是由于技术研究和产品研制的目的、方法不同，因此必须有意识地设计一个有效的技术迁移过程，包括应用基础研究成果向应用研究迁移、应用研究向先期技术开发迁移、先期技术开发向产品研制的迁移，完成技术研究成果逐层在应用对象上的验证，保证技术研究成果在产品中能够有效落地，提高成果转化率和投资有效性，实现技术需求到技术成果的闭环，实现技术研究和产品研制的互锁。

航空发动机各技术参数的高度

耦合，牵一发而动全身，极小的温度或压力差异将导致在未知的领域有着很大的变动，通过真实工作环境的验证，来评审技术的可行性、适用性，发现并解决问题，降低技术风险，按照技术规划中明确的应用对象和应用节点，通过迁移流程的技术成果应用到产品研制中去。

技术迁移也需要一定的组织保障，在产品研制伊始，建立由技术研究核心人员与具有丰富产品研制经验的设计人员共同组成的技术过渡小组，来共同完成技术迁移，将技术研究成果的精髓快速、准确地应用到新产品研制中。

结束语

航空发动机技术研究是探索发现新的方法、手段、技能的过程，其根本目的是为产品研制竞争力做技术储备，为航空发动机追求更高的推力、更低的耗油率、更稳定的状态等提供技术途径。在航空发动机技术研究中，应提升关键技术识别能力，增强技术研究项目的洞察能力，从技术需求入手，促进技术共享，减少重复开发，提高开发效率；制定技术重要度排序标准，从技术对产品竞争力的影响程度、技术的独有性等方面明确显性、可行的适应航空发动机特点的判断原则，从而指导技术实施策略的确定；建立完善的技术研究资源度量系统，通过项目运作过程中人力、经费、物力的数据积累，规律总结和分析，支撑后续项目对人、财、物投入的准确预估。

航空动力

（谈梦妮，中国航发动力所，工程师，主要从事系统工程、技术评审相关工作）