

航空发动机技术审查工作的分析与思考

Analysis and Reflection of Aero Engine Technical Review

■ 李敏/中国航发 刘子奇/中国航发研究院

航空发动机的研制耗时长久、费用巨大，而且还面临着产品性能不达预期的可能，其中蕴含的潜在风险不言而喻。而技术审查是监控航空发动机产品研发过程的重要方法，是确保需求符合性的重要手段。

研制特点决定了航空发动机在采办和科研项目管理中普遍存在着“涨费用、拖进度、降性能”的问题。基于系统工程管理方法，将航空发动机研制过程划分为若干阶段并设置里程碑节点，并由专门的技术审查团队进行一系列正式的审查和决策，实现全生命周期管理，可以有效提高航空发动机研制项目管理水平，促进航空发动机研制事业的发展。

技术审查工作基本流程

为了减少装备研制“涨、拖、降”现象的发生，以美国国防采办部门为代表的组织机构和企业非常重视对包括航空发动机在内的高精尖技术武器装备的研发、生产、采购、使用保障以及退役处理等全生命周期过程管控，提供了大量可供借鉴的技术审查工作经验。

美国国防部

美国国防部将采办过程划分为若干阶段并设置里程碑节点，实现分阶段的审查和决策。2017年版采办项目的全生命期管理模型框架(见图1)明确了3个里程碑，划分了5个研制阶段，并设置了一系列决策点与技术审查/审核点，通过开展分阶段、分层次审查，对装备采办项目实施全

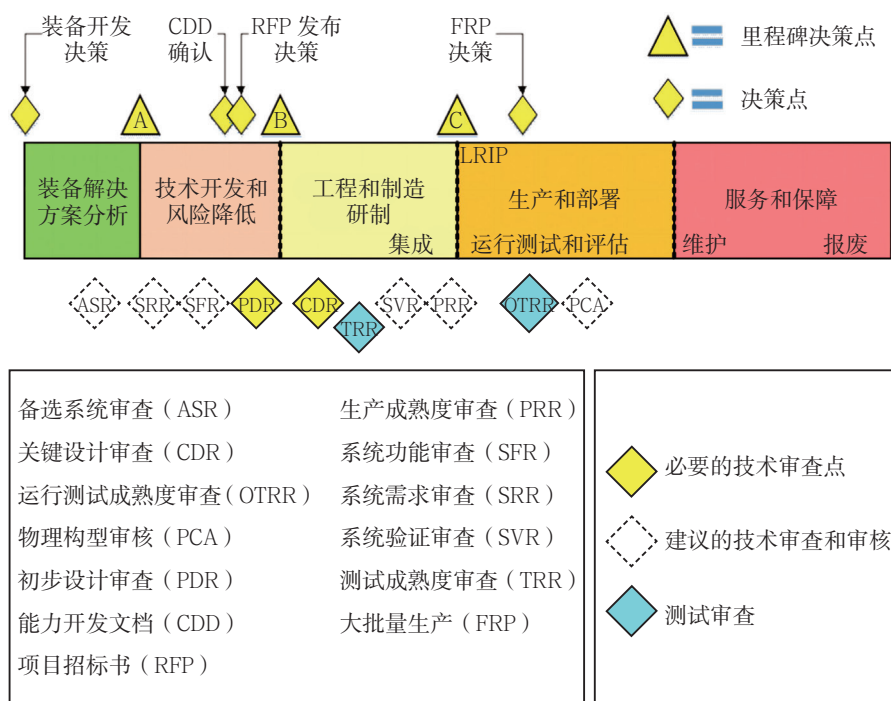


图1 美国国防部采办项目全生命周期模型示意

生命周期管控。

美国国防部发布了一系列系统工程管理和审查工作相关的政策性文件。美国国防部令5000.02《国防采办系统运作》明确规定，重大装备采办项目必须实施技术审查，技术审查是一个结构化的技术评估过程，有着严格的组织模式与程序。在审查的45~90天前，美国国防部会组织行业资深专家成立技术审查委员会并启动资料的预审工作，同

时应用审查清单支撑审查工作的开展。审查内容涉及科学技术、需求管理、人力资源、设施保障、质量管理和项目管理等多个方面，确保了审查的充分性和有效性，提高了装备研制项目管理水平，促进了武器装备的研制发展。

GE公司

GE公司遵照新产品导入程序(NPI)管理研发项目，将产品研制分为产品承诺、定义产品和项目、

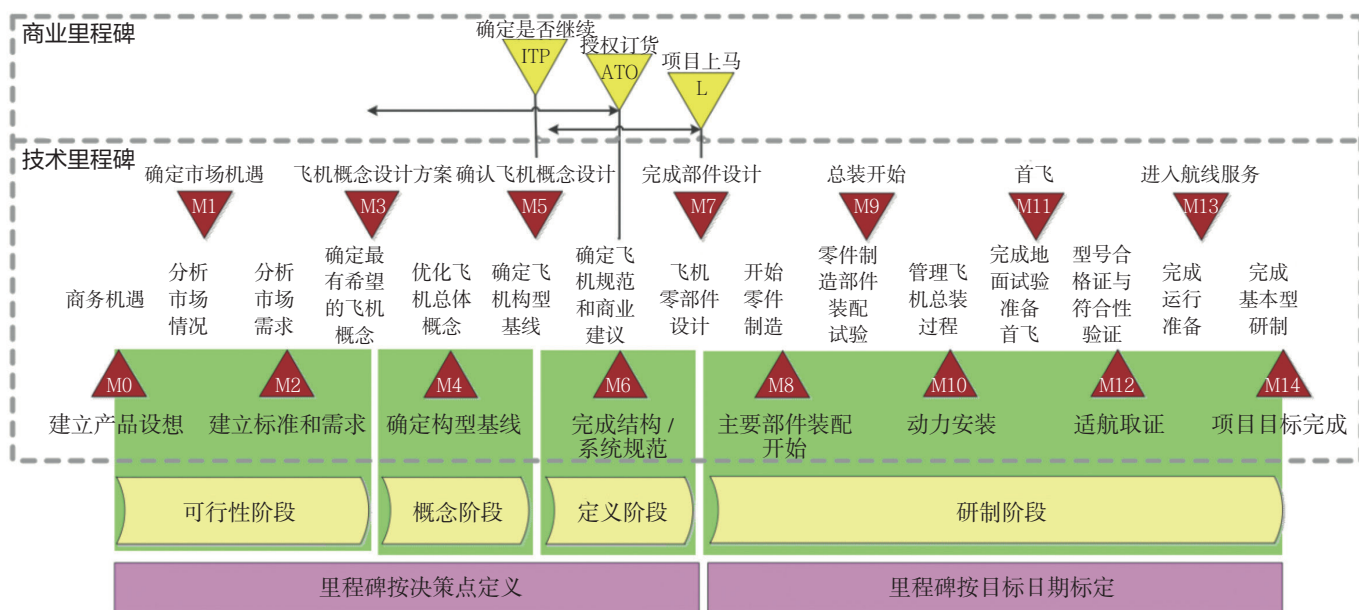


图2 空客公司新产品开发全生命周期模型示意

设计和产品实现、产品试验验证和取证、制造与服务支持和产品改进等阶段，并在研制过程中设置了10个阶段门（Tollgate）和若干技术审查点，对新产品研制过程进行全面监控。GE公司的审查可分为项目审查和技术审查两大类：项目审查是在10个阶段门进行的综合性审查，审查内容涉及到产品、工程、制造/供应链、市场、销售、财务、法律和服务等方面的工作，用于综合评估项目的完成情况和风险水平，判断项目是否可以进入下一阶段；技术审查则是针对技术层面工作开展

空客公司

空客公司新产品开发模型定义了全生命周期主要活动，如图2所示。

空客公司将研制阶段分为可行性研究阶段、概念阶段、定义阶段和研制阶段等4个阶段，每个阶段中又细分为多个小阶段（共有15个），并设置了一系列顶层里程碑，包括3个商业里程碑和14个技术里程碑，规定了各里程碑阶段的主要研发活动，明确了审查标准，对产品实施有效管控。在此基础上，按照产品的复杂程度以及实际管控需要，可对里程碑节点进一步细化分解，以保证对大型业务流程进行全面的管控。

罗罗公司

罗罗公司对产品研发过程进行了阶段划分并设置了一系列审查点，

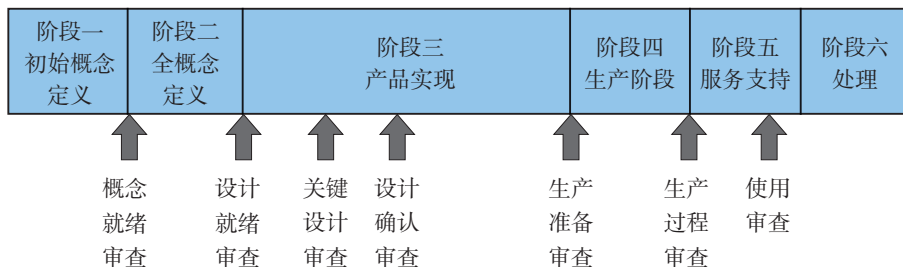


图3 罗罗公司产品全生命周期模型示意

如图3所示。由工程技术审查中心带领独立的技术审查团队，对公司产品进行技术审查，实施产品全生命周期监管，保障设计意图和工程标准的实施。针对航空发动机项目，罗罗公司建立了专门的审查规范，明确了各审查点的审查内容与审查要求，并形成了覆盖各产品层级、各专业领域的技术指标体系和问题库，通过严格的审查流程运行，提高了技术审查的科学性与全面性。

霍尼韦尔公司

霍尼韦尔公司基于新产品导入程序，形成了全生命周期的管理模型，其标准NPI研发流程分为7个阶

段，定义了从需求分析到产品交付全过程的行为规范。NPI流程不仅确定了各阶段主要工作，也清晰界定了不同阶段的不同主导部门，如P0~P2阶段为产品经理/市场经理主导、研发人员参与，P3~P6阶段为研发主导、其他相关部门参与。霍尼韦尔公司在NPI流程关键节点设置了各类审查和审批活动，以实现研发活动管理。完整版的NPI流程设置了90项审查点，其中，需要总部参与的审查点有25项。为提升各地研发团队的效率和灵活性，在充分征求团队和客户意见、进行严谨分析论证的基础上，可以对标准7个阶段NPI程序进行裁剪。

我国技术审查工作发展现状

我国在总结产品研制工作经验基础上，制定了一系列研制管理制度文件和标准等，对研发阶段和审查活动也做出了不同程度的规定，明确了研制过程管理和技术审查的有关要求。

航空领域技术审查实践

我国航空工业发展早期，“技术审查”的概念还没有在装备研制中普及，但是已经存在了和技术审查类似作用的过程控制手段——“转阶段评审”。后续在研制工作中，我国航空工业采用了国军标（GJB）3273A《武器装备研制项目技术审查》这一标准，但是该标准较多参考了美军标做法，且由于是通用标准，适用于所有装备类型，因此对航空装备的针对性较弱，起到的指导作用有限。为了进一步规范航空装备研制，航空工业结合实际，将军用航空装备研制阶段划分为论证、工程研制、列装定型和批产/保障4个大阶段，涵盖了军用航空装备

研制的全生命周期。同时，为保证对各阶段工作的严格管控，各大阶段下又细分为若干的过程：论证阶段包括先期技术开发和论证立项2个过程；工程研制阶段包括方案设计、初步设计、详细设计、试制和地面试验、调整/科研试飞，以及性能鉴定试验和状态鉴定6个过程；列装定型阶段包括小批量生产及作战试验和列装定型2个过程；批产与服务保障阶段包括生产交付、在役考核和服务保障3个过程。在各阶段、各过程设置里程碑节点，对航空装备研制实施有效的过程管控，保证了装备研制质量。

华为集成产品开发评审体系实践

华为公司推进集成产品开发（IPD）体系建设成效显著，其管理理念也为其他行业提供了良好的借鉴意义。为保证对产品开发过程的有效监控，华为公司在产品开发主流程中设置了一系列评审点，形成了结构化的评审体系，通过规范的评审组织模式、科学的评审检查单等工具，对集成产品开发进行有效的过程管控与决策把关，保证产品的研制成功和商业价值的有效实现。

IPD产品开发过程中的评审主要分为两大类，即投资决策评审（DCP）和技术评审（TR），如图4所示。

投资决策评审是在项目研制的重大决策点，由集成组合管理团队

（高管决策团队）对项目进行的最顶层综合评估，主要从商业视角对项目每个阶段工作进行审视，评估每一阶段的投资效果和投资风险，并作出相应的项目决策，保证将公司的有限资源投入到高回报的项目上，主要包括立项决策评审（Charter DCP）、概念决策评审（CDCP）、可获得（发布）性决策评审（ADCP）、计划决策评审（PDCP）和生命周期终结评审（EOLDCP）。决策点评审不属于技术评审范畴，而是业务评审，更加关注产品的市场定位和盈利情况。

技术评审是在产品开发过程的重要节点，产品开发团队围绕技术层面问题所开展的评审，通过对产品成熟度的持续评估，判断技术方案是否可行，识别潜在问题和风险，确保产品充分满足需求，同时为产品的决策评审提供输入，支撑决策团队进行产品决策工作。华为的技术评审点主要包括TR1~TR6等6个评审点，其中：TR1重点关注产品的需求是否可实现；TR2主要检查总体方案及系统设计的要求；TR3主要是对硬件、软件、工艺和结构的概要设计进行评审；TR4主要评估系统详细设计层面的问题是否已解决，是否满足系统的设计要求；TR5主要是确保初始产品性能需求

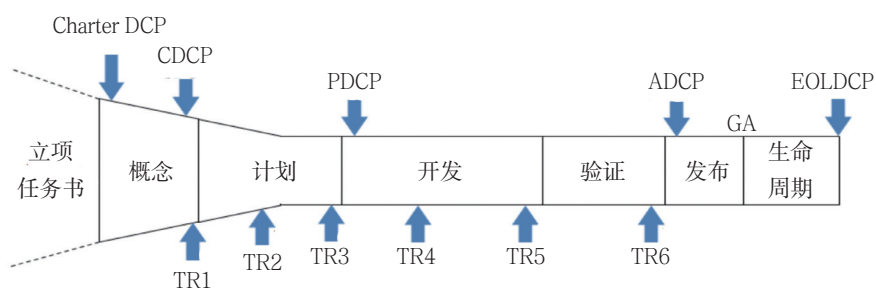


图4 华为IPD评审点设置示意图

已经得到满足，所有已知的技术问题已经解决；TR6主要是评估生产级的技术成熟度，并且确认进入量产阶段的风险。

航空发动机技术审查工作思考

相较于国际先进机构和企业，我国航空发动机技术审查工作在组织运作、审查工具开发运用和审查队伍建设等方面还存在进一步优化提升的空间。在流程运作方面，我国航空发动机技术审查工作主要以评审会形式进行，会议周期短，专家未能在审查工作开始前充分消化有关资料，可能导致审查过程中对于问题的发掘不够充分；在审查工具运用方面，我国的审查检查单建设尚处于起步阶段，审查问题设置的科学性、全面性和系统性仍需持续加强，审查信息化工具的开发运用则更显薄弱，亟须进一步强化相关工具的建设；在审查专家队伍建设方面，缺乏相对独立的组织机构/队伍对项目进行持续、客观的把关与监控，审查专家团队往往临时组建，项目前后节点的专家队伍缺乏延续性，审查专家团队的组建及运作机制还需开展持续的探索与研究。因此，针对上述问题，对航空发动机技术审查后续优化改进方向提出以下几点思考。

设立专门审查机构

随着航空发动机产品复杂程度的大大提高，若想切实发挥技术审查作用、强化审查效果，就需要在审查前开展大量的准备工作（如审查准则的制定、开展前伸审查等），技术审查工作量也随之大大提升，传统的审查组织模式已经不适应新

的审查需求了。除了传统的“审查方”“被审方”和“专家组”的角色外，需要设立一个“第三方”或者是“审查支持机构”，来承担大量的审查准备工作，支持审查的开展。

优化审查模式

传统的审查模式中，以会议审查为主，一般开展1~2天的审查会，但由于装备的复杂性，很难在短时间内对项目进行详细的审查，若要提升审查效果，增加审查时间是最直接有效的方式。借鉴美国军方技术审查方法和我国航空领域技术审查实践，建议在我国航空发动机领域技术审查的工作中突破传统审查模式的束缚，进行审查模式的创新优化，强化预审查和审查问题闭环环节，达到更细致的审查效果。

建立完备的审查清单

进行全面细致的技术审查必然需要开发相应的审查工具，审查工具的作用是帮助专家开展审查，最常见的审查工具即为表单化的审查准则，可以帮助专家全面检查项目工作。在审查过程中，通过审查清单将审查要点进行固化，并由被审查单位提前对审查清单的事项逐一填写完成情况和风险，帮助专家快速准确地发现前期工作中存在的问题，可进一步提升审查的科学性与全面性。

建立审查专家库与考核制度

航空发动机研制工作技术复杂、专业范围广、项目研制周期长，其技术审查工作需要保持相对的延续性。有必要建立相对稳定的审查专家库，在进行具体技术审查工作中保证评审专家对项目相对熟悉，了解其研制中重要技术方案、重大变更等信息。同时，要建立专家效能

评价指标，对专家在技术审查中的作用进行评价，以便不断对审查专家库进行完善。

开发信息化平台

以美国国防部为代表的标杆机构已在大力推进信息化工具在技术审查工作中的应用，审查流程、审查问题清单的信息化、集成化，对产品研发监管提供有效支撑。航空发动机研制是一项复杂的系统工程，对其开展技术审查涉及大量的人员、资料和信息协调，同时随着技术审查流程、方法与工具的不断革新，势必对传统的技术审查工作手段带来挑战。因此，在确立技术审查组织构成、职责划分和审查流程的基础上，应开发适用的信息化平台，对审查工作流程、审查清单等工具以及审查专家库等进行信息化管理，提高技术审查工作效率与规范性。

结束语

从美国国防部采办系统以及标杆企业的最佳实践来看，在产品全生命周期关键节点开展工程技术审查，是基于系统工程的项目管理的必然选择，是保障研发过程顺利开展的重要手段。提升航空发动机技术审查工作的管控效果，必须从流程、组织和工具等多维度开展协同性研究，通过规范、严谨的审查流程制定及运行，客观、科学的审查团队建立，全面、系统的审查检查单开发，以及高效的审查信息化工具运用，实现对航空发动机研制的科学、规范管控，降低研制风险、提升产品质量。

航空动力

（李敏，中国航发，高级工程师，主要从事航空发动机技术管理等相关工作）