

航空发动机产品开发流程评审体系优化设计

Optimized Design of Aero Engine Product Development Process Review System

■ 宋柳丽 韩秋冰 史妍妍 / 中国航发动力所

在运用集成产品开发 (IPD) 流程时, 评审作为一项管理手段发挥着越来越重要的作用。同时评审也是一种在产品开发时尽早发现缺陷的管理方法。

根 据IBM公司的统计数据显示, 在大多数企业的产品开发中有2/3的缺陷都是在需求和设计阶段引入的, 而尽早发现缺陷的修复成本远低于在产品开发后期测试中发现缺陷的修复成本。航空发动机产品在研发后期验证过程中具有高投入的特点, 更应该重视每个阶段的评审工作。因此, 越早发现问题, 产品总体研发成本越低。

IPD 评审体系 评审的层级

集成产品开发 (IPD) 流程中的评审工作可分为3个层级: 第一层为投资决策评审 (DCP); 第二层为技术评审 (TR) 和各功能领域评审 (XR); 第三层为交付件评审, 如图1所示。

第一层级的DCP, 是集成产品开发管理团队 (IPMT) 管理产品投资的重要手段。在决策评审中, IPMT始终站在投资商的角度进行评审, 决策产品是否能够进入下一个阶段, 并批准相应的投资, 形成分阶段投资的模型。这些决策点不是技术评审, 而是商业评审, 关注正在开发过程中的产品在未来市场中的地位和竞争力, 是否值得投资,

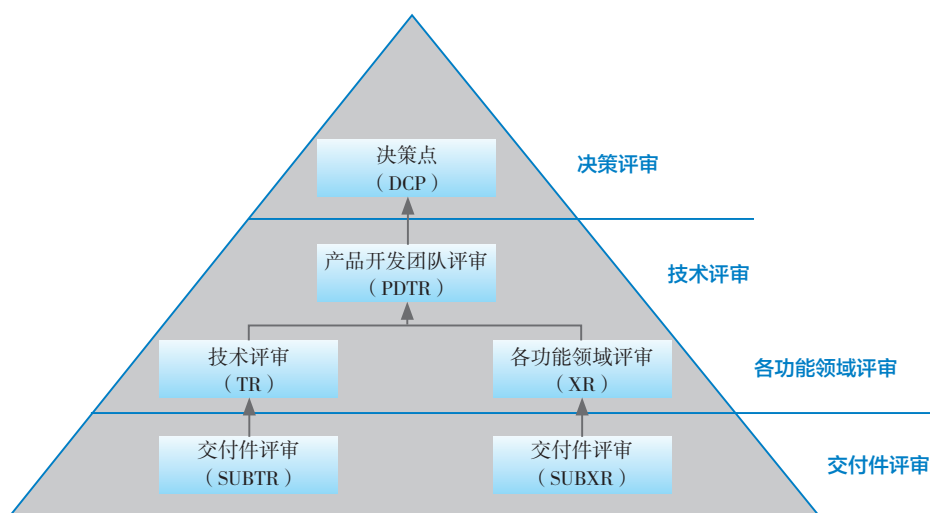


图1 IPD 产品开发流程中的评审层级

有无清晰的开发设计, 上市前产品及各功能领域是否准备就绪等。如果决策不通过, 项目终止^[1]。

第二层级中, TR关注产品包的成熟度, 用以提前发现问题并形成对策, 确保项目团队已经识别了所有的技术风险, 并在产品设计中进行了充分考虑以满足规定的产品需求, 避免下游阶段对前期隐藏的缺陷无法纠正或者被迫耗费巨大的人力、物力和时间。XR关注功能领域对商业计划的支撑以及相关的内部质量, 通过各功能领域 (例如, 市场、制造、供应、服务、销售等) 的XR机制, 安排功能领域专家参与, 对

交付件、产品质量进行全面把关。

第三层级的交付件评审, 关注各交付件的质量, 交付件评审在流程中没有固定的评审点, 原则上各交付件均须开展交付件评审, 其编制人是主要的评审责任人。

以上3个层级的评审是逐层支撑的关系, 交付件评审支撑TR和XR的开展, XR和TR是DCP的输入, 如果没完成XR和TR, 就不能进行DCP。产品开发团队评审 (PDTR) 是根据XR和TR的评审结果, 综合审视和评审产品包及商业计划的完成情况和质量, 把TR、XR的评审结论, 包括存在的问题、风险及改

进计划整理，供IPMT决策时参考。

典型IPD流程评审点的设置

在典型的IPD流程中，产品上市前应建立3个决策点：概念决策评审点（CDCP）、计划决策评审点（PDCP）和可获得性决策评审点（ADCP）。在各决策点按阶段对产品开发项目进行审视，及时砍掉不再具备投资意义的项目，把资源分配转移给能够获得较高投资回报的项目。其中，在PDCP要评审最终的商业计划及决策合同，一旦获得批准，一般情况下都会投入需要的研发资源，按计划完成开发任务将产品推向市场。当产品开发团队（PDT）经理认为有必要时还可以申请临时DCP决策。由集成产品开发团队来决策项目是否继续前进、终止或重新调整投资方向。

技术评审是从TR1到TR6在产品

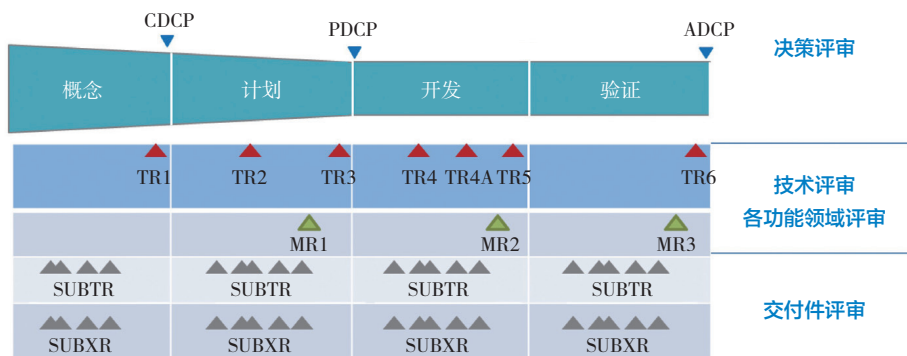


图2 典型IPD流程评审点的设置

转阶段及重要节点上进行设置，是评估是否完成了前面的工作能够进入下一阶段的检查点，其中：TR1 ~ TR3一般是按产品需求定义、系统方案及分解分配需求、产品概要设计这几项关键活动的节点进行设置；TR4 ~ TR6主要依据不同的测试类别进行设置，每个TR点的关注点如表1所示。

XR包括市场评审（MR）、制造

评审（MER）、服务评审（SR）、采购评审（POR）等，可按各功能领域的特点设置。交付件评审则没有统一的要求，随着研制的进展当交付件输出后，可对单一的交付件进行评审，也可对一批交付件进行集中评审。

典型的IPD流程评审点设置如图2所示。

在企业实践中，决策评审和技术评审经常被混淆，其区别在于两者的站位是不同的。

决策评审是用于商业投资的决策，必须做出明确的结论：第一种是继续开展项目，承诺提供下一阶段资源；第二种是终止项目，释放资源；第三种是调整方向，重新进行决策评审。

技术评审是确保产品满足客户需求，围绕产品包需求的完整性以及对客户需求的满足，在产品开发过程中设置评审点，通过这些评审点判断技术方案是否可行，识别潜在问题和风险。与决策评审点的设置相比，技术评审点的设置具有更大的行业和产品特征。一般来说，如果产品开发周期越长、技术含量越高、涉及领域越多，则应设置更多的技术评审点。但技术评审过多，

表1 IPD流程中各技术评审的关注点

评审点	技术评审的关注点
TR1	关注产品包需求的完备性以及产品概念是否满足产品包需求，保证所选概念在技术上的可行性，并能够解决产品需求
TR2	关注产品设计需求到产品设计规格的完备性，是在计划阶段对产品设计规格的评审
TR3	关注部件产品的规格和概要设计满足解决方案的需求情况，确保设计规格已完全、正确地体现在概要设计中，为后续详细设计活动是否决定继续投入资源提供依据
TR4	检查各模块是否满足进入系统设计验证的标准，确保该模块的相关规格在模块详细设计中体现，是对详细设计、构建模块功能验证测试结果的评审
TR4A	检查原型机的系统设计验证结果和初始产品的准备情况，对产品技术的成熟度进行评估，保证供应和制造能力足以支撑初始产品生产活动，是评估进入系统集成测试的入口
TR5	通过系统集成测试结果评估初始产品的质量，保证产品试制前在功能和性能方面的问题均已发现和解决，小批量初始产品生产已准备就绪
TR6	关注产品生产问题的状态和问题解决情况，是一个系统级的评审，确保产品的制造能力已经能适应向外部客户发货的需求

也会增加管理的难度和成本，所以在设计的过程中不能一味地为了加强严控而过多地设置评审点。技术评审也必须做出明确的结论，一般有3种结论：第一种是评审通过，可以提出评审改进意见，项目组自行评估是否采纳；第二种是带风险通过，后续须给出风险管理计划和跟踪关闭结果；第三种是评审不通过，项目组对评审问题提出解决方案后再次提交评审。

评审的组织过程及方法

为确保评审工作的高质量开展，须按照一定程序开展评审的组织工作。在IPD流程中，该项工作一般由项目经理或质量管理人员负责。以TR点为例，典型的评审过程可分为以下几个步骤：制订评审计划，项目经理或质量代表协调确定评审开展的时间节点和相关资源；启动评审，质量代表审查是否满足启动评审的条件，受审方提供评审相关的技术资料；进行预审，评审专家及各领域代表对照评审要素表对交付件进行审查，并完成评审要素表的填写；召开评审会议，项目经理或质量代表组织召开评审会议，针对评审问题进行研讨；制定并发布评审报告，评审组给出评审意见，输出《评审报告》并发布给项目成员及相关人员；跟踪执行，处理《评

审报告》中的遗留问题。

在实际运作过程中，各单位可采用制订规范的评审制度、评审检查单等方法来提高评审效果。一般来说，评审制度应包括参与人员的选择和要求，考核会议出席率；确定评审原则和评审的结论；制定评审流程，提交议题和材料的时间要求；发布和执行纪要、归档和遗留问题跟踪的要求等。

在制定检查单时，各单位应结合研发过程中的宝贵经验，编制条目化的检查表格，供评审团队使用，方便团队成员检查项目方案、资源、投资估算、产品技术成熟等方面的情况。在检查单运用的时候应该具有灵活性，不应要求所有项目都僵化地使用统一的检查单。检查单是指导性文件，是经验、知识的积累，除法律、法规、质量等规定要求外，都需要根据实际情况进行调整，每种产品、每个评审点都应该在此基础上构建适合自身特点的检查单。

航空发动机评审体系的现状分析与优化

航空发动机评审体系的现状

目前，我国航空发动机产品已建立评审体系的基本框架，在研制过程中将评审分为决策点、转阶段、专题和专项评审等几个类别。其中，

决策点通常是由军方或用户根据技术成熟度、风险控制、经济性分析等要求和评价准则，提出是否批准决策，因此在中国航发的评审体系中继承了军方或用户的要求；转阶段评审是在项目研制过程中，为确定阶段性工作和交付物是否达到阶段目标，满足既定要求而开展的评估和控制活动，必要时可针对批次工作开展转批次审查；专题评审是在项目研制的关键节点为控制项目风险评估是否达到规定要求而开展的审查活动，可分为整机级、部件/系统级、零组件级；专项评审是指为降低研制风险，针对性地解决某些技术问题开展的设计、试验、工艺等方面的审查。

航空发动机评审体系优化方案

将IPD流程评审体系与中国航发现有的评审体系相比较，发现在体系评审层级、评审点设置等方面可以进行以下优化。

第一，在架构层级方面，中国航发的转阶段评审和专题整机评审因评审内容重叠较多可以归类为IPD流程评审体系中的技术评审，其他专题评审和专项评审可归类为交付件评审，属于技术评审的必要输入。

第二，原决策点设置只考虑了外部的决策需求，对于内部投资产品的决策点设置是缺乏考虑的，内

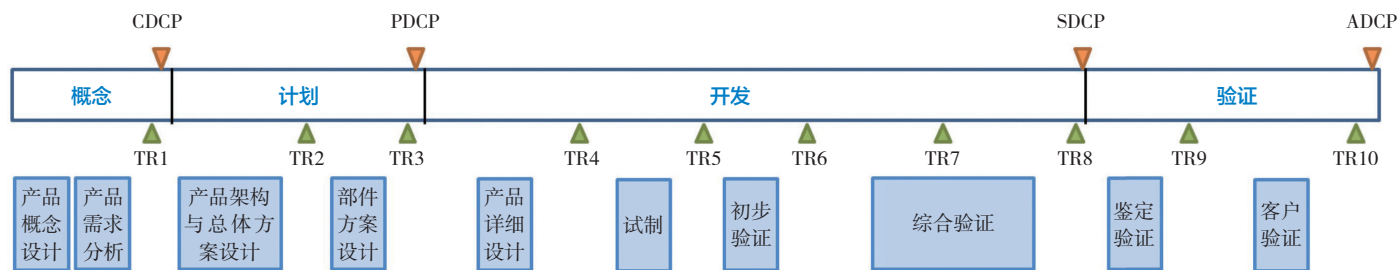


图3 航空发动机评审点优化方案

表2 各技术评审点的评审内容介绍

评审点	评审内容
TR1	评估系统需求是否充分映射客户需求，产品概念和系统需求是否足以指导产品的方案设计
TR2	评估总体方案是否完全实现系统需求，是否足以指导后续设计和开发；确保系统需求都基于总体方案完成了分解分配
TR3	评估部件方案是否实现分解分配需求，是否足以指导产品详细设计；确保部件方案遵循总体方案
TR4	评估产品能否进入试制；确保产品详细设计实现分配需求；评估试制准备是否就绪
TR5	评估产品的实物状态能否进入初步验证；确保产品的实物状态与设计状态保持一致
TR6	评估初步验证的结果、遗留问题和风险及其改进计划，判断能否进入综合验证；评估综合验证的准备是否就绪
TR7	评估飞行前规定试验的结果、遗留问题和风险、及其改进计划，判断能否进入科研试飞；评估科研试飞的准备是否就绪
TR8	评估综合试验的结果、遗留问题和风险、及其改进计划，判定能否进入鉴定验证；评估鉴定验证的准备是否就绪。
TR9	评估鉴定试验的结果、遗留问题和风险、及其改进计划，判定能否进入客户验证；评估客户验证的准备是否就绪。
TR10	评估客户验证的结果、遗留问题和风险、及其改进计划，判定能否进入批产；评估批产准备是否就绪。

部决策产品也应根据评估前期的项目风险，判断后续工作开展所需的人力、物力和时间的投入，决定是否可提供所需的资金。因此，对于应用IPD流程的内部投资产品，建议在流程的转阶段点上设置决策点。

第三，技术评审点的设置应体现在产品开发过程中对产品成熟度的控制，应与各阶段产品开发的各项活动密切结合，不建议按照研制产品的批次状态设置评审点，建议在产品开发主流程中对照阶段的研制活动将评审点设置为TR1 ~ TR10，评审点设置的具体位置如图3所示。其中，每个评审点的评审内容如表2所示。

对比优化后的评审体系，评审体系层级更加清晰，在继承了IPD流程中决策点的设置的基础上，增加了内部研制产品的决策点设置，主要工作是审视各阶段TR的结论，评估项目团队是否已经识别了所有风险，判断后续工作所需的资源，决定是否可提供资金投入。当项目出现一些可能影响项目终止或出现较大投资变动的情况时，可由项目经理发起临时DCP决策。例如，临时增加批次或增加试验项目，需要追加资金投入，或者外部市场发生变化，产品不能取得预期收益等。

在技术评审点的设计上，TR1 ~

TR3的设置与IPD流程相同，虽然各单位研发的产品不尽相同，但设计开发的逻辑是相通的。从TR4开始，考虑到航空发动机在关键设计点上的控制及验证类型的差异，结合发动机的验证分类进行了个性化的设计。在优化设计过程中，也充分考虑了TR点与GJB3273A—2017《武器装备研制项目技术审查》的对应关系，目前的设计结果可以支撑军方评审，但在实际操作过程中不能把两者合二为一，TR的执行主体是产品开发团队，在TR完成后可以申请接受军方的对应评审。

为使评审更好地发挥效力，参与评审的人员应该进行观念上的转变，本着充分暴露问题的目的，找出所有可能存在的问题和隐患，并主动加以解决，而不是将责任推给评审专家，只有这样才能起到逐层支撑决策评审的作用。在运用IPD流程的标杆企业，经过评审认可的文件，签署流程会得到简化，而与签署流程相比，评审报告的结论更具有效力。

结束语

建立起航空发动机产品完备的评审体系，制订合理易行的评审流程，明确评审点的评审标准，在完成规定工作并达到相应的质量要求后才能放行，让产品进入下一个阶段，能够有效预防或降低因缺乏技术评审，控制研制风险、减少研发投资的浪费。

航空动力

(宋柳丽，中国航发动力所，高级工程师，主要从事技术评审体系和构型管理相关研究工作)

参考文献

- [1] 夏忠毅.从偶然到必然[M].北京:清华大学出版社,2019.