

航空发动机产品开发流程阶段划分

Stage Division of Aero Engine Product Development Process

■ 韩秋冰 栾旭 宋柳丽 / 中国航发动力所 卢硕 / 中国航发研究院

在装备采购模式由计划采购转向竞争性采购的背景下，集成产品开发（Integrated Product Development, IPD）的理念和方法能够为适应新形式、谋求新发展而开展的管理变革提供很好的借鉴。

产品开发流程是为客户创造价值的业务流程，端到端地定义了产品开发全过程、全领域的业务活动，支撑着产品开发团队完成产品开发。产品开发流程阶段的划分是针对该流程的结构化的整体框架描述，定义了流程各阶段的工作要点，是产品开发能够顺利开展的前提和基础。

目前，企业在划分产品开发流程阶段时，大多是采用集成产品开发（IPD）中的方法。IPD源于美国PRTM咨询公司的“产品及生命周期优化法”（Product And Cycle-time Excellence, PACE）。美国IBM公司

最先将IPD付诸实施并在竞争激烈的商业市场上取得了巨大的成功。在IBM公司成功经验的影响下，许多面向市场的高科技公司均采用了IPD模式并取得了较大的成功，由此表明IPD是一种卓越的产品开发模式。本文结合航空发动机产品开发的特点，通过对集成产品开发流程的分析，提出了航空发动机产品开发流程阶段划分的相关建议。

IPD 产品开发流程阶段划分分析

IPD集成产品开发（如图1所示）注

重基于市场的产品创新、技术开发和产品开发分离、多个职能域的并行开发等理念。集成产品开发主要包括以下几个特点：一是规划与开发分离，通过需求管理驱动产品路线图的滚动开发，向上承接业务战略，向下为产品开发指明方向和节奏；二是技术与产品分离，定义“技术开发流程”，通过技术与产品的异步开发，实现技术与产品的互锁，以支撑产品所需的关键技术提前就绪；三是强调开发与维护分离，定义“生命周期管理流程”，避免日常维护工作对产品开发工作的直接冲

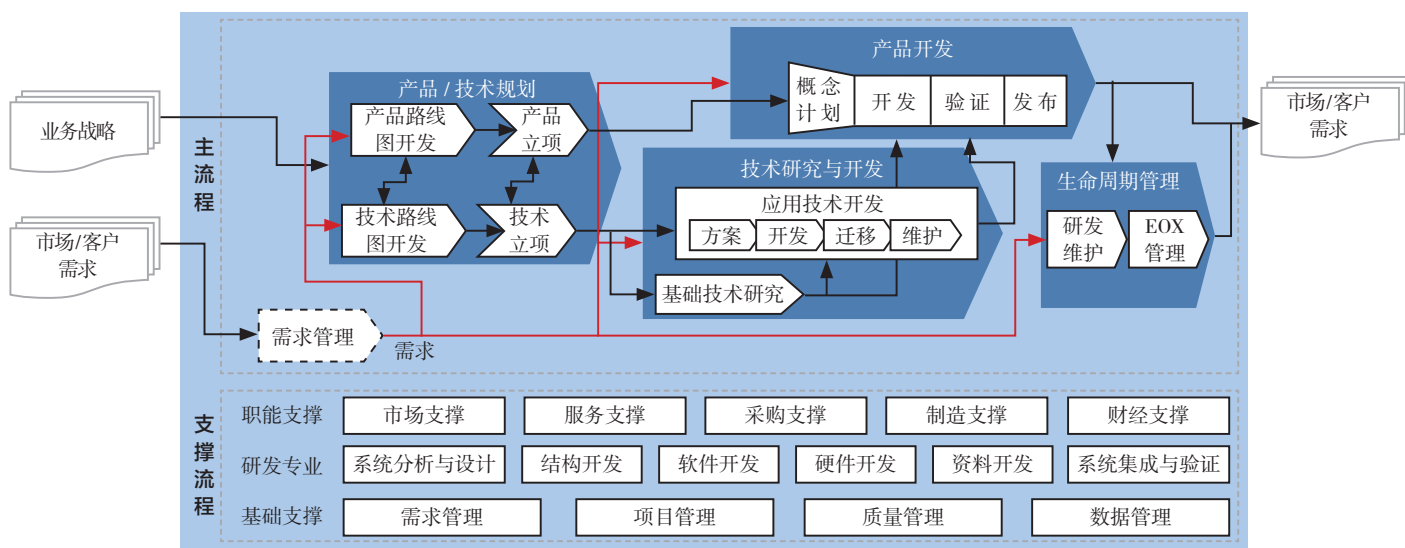


图1 IPD集成产品开发流程架构

击，同时快速响应客户问题，提升客户满意度；四是强调并行开发，定义“职能支撑流程”，通过定义研发、市场、采购、制造、服务、财经支撑流程，确保相关领域并行开发并对研发形成高效支撑；五是强调基础管理能力，定义“基础支撑流程”，通过定义需求管理、项目管理、质量管理、数据管理流程，持续积累并提升研发所需基础管理能力，为产品开发高质高效保驾护航。

产品开发流程在IPD中是一个“重载”的流程，在产品开发成功的基础上还要保证具备批量营销、批量生产制造和服务保障的能力，因此产品开发不只是研发工作，在产品开发流程运行过程中需要调用除研发专业外的全部职能支撑流程，同时，为了保证产品开发过程高质量、高效率 and 低成本，还需要调用全部的基础支撑流程。产品开发流程划分为概念、计划、开发、验证和发布5个阶段（如图2所示），设置了3个业务决策评审点（DCP）和7

个技术评审点（TR）。各阶段主要业务工作如下。

在概念阶段，主要根据完善的系统特性和初始需求以及各领域提出的面向产品全生命周期的设计（DFX）需求开展产品需求分析工作。产品需求要包含全生命周期运行场景的概念，同步开展备选概念的分析工作，明确采取的主要技术，工作完成后进行TR1评审；同步开展初步商业计划的编制，制订职能领域的策略和初始计划。待TR1评审通过后，初步商业计划定稿并上会，进行更高层级的概念阶段决策评审（CDCP），评审通过后转入计划阶段。

在计划阶段，完成产品架构的设计，并将产品需求分解分配至模块，架构设计结果要通过TR2评审；随后开展模块的概要设计，模块的概要设计需要通过TR3评审；同步继续开展商业计划的编制工作，优化各职能领域的策略和计划，待TR3评审通过后，最终的商业计划上会

进行计划阶段决策评审（PDCP），评审通过后转入开发阶段。

在开发阶段，完成模块的详细设计及产品的试制，研发内部测试通过后进行TR4评审，随后提交测试部门进行系统功能测试（SDV）和系统集成测试（SIT），SDV完成后进行TR4A评审、SIT完成后进行TR5评审，测试过程出现的问题需要进行设计改进和回归测试，TR5评审后转入验证阶段。

在验证阶段，主要工作是系统验证测试（SVT）和客户环境下的β测试（即用户进行测试，并要求用户报告异常情况、提出改进意见），同时通过先期小批量的生产对制造系统的能力进行验证，完成以上测试工作后进行TR6评审。同步根据测试情况及各领域准备情况完善商业计划，并提交进行可获得性决策评审（ADCP），评审通过后转入发布阶段。

在发布阶段，主要工作是开展生产系统的切换和产能爬坡工作，通过早期销售对各职能领域的准备情况进行验证，最终召开产品的外部发布会，产品开发工作全部完成。

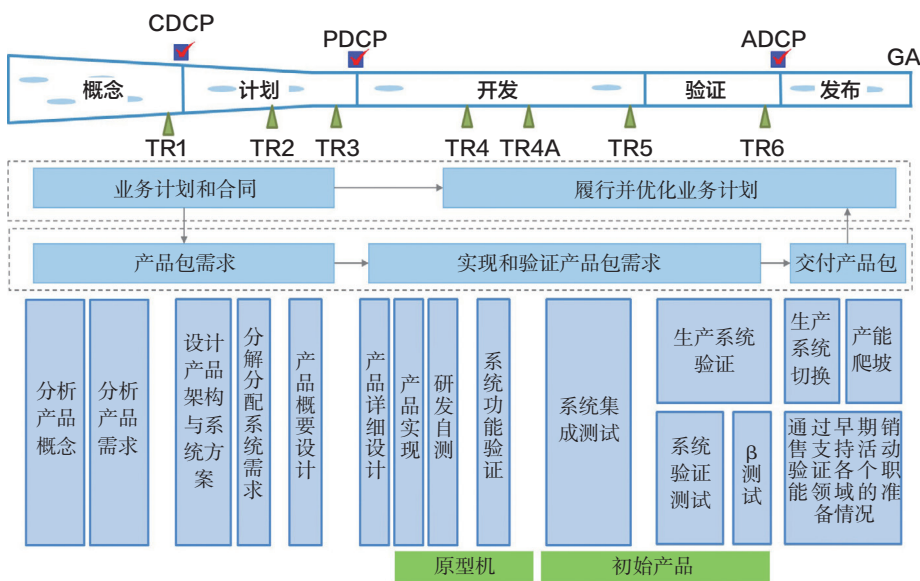


图2 产品开发流程阶段划分及主要工作

对航空发动机开发流程阶段划分的建议

基于IPD流程可以将航空发动机产品开发流程阶段划分为概念、计划、开发和验证4个阶段，从阶段名称上与国家标准相区分，做到统一语言、内外有别。各阶段工作要点如下。

概念阶段

概念阶段以立项任务书为输入，开展包括运行场景和DFX需求的发动机产品需求分析，同步开展发动机概念设计，实现发动机产品需求

和概念相互支撑，主要工作包括：各领域提出相关的产品包需求；完成产品需求分析；完成产品备选概念分析；完成初步目标成本分解；启动供应商认证流程；开展初步财务评估，形成初步损益预测报告和项目预算；制订各领域初步策略和计划；制订初步端到端项目计划。

计划阶段

计划阶段基于概念阶段产品需求和概念，开展发动机整机总体方案设计，并将产品需求分解至各部件和系统，部件和系统根据分解分配需求开展设计工作，将其承接的需求实现并分配给下层零组件或成附件，具备工程图设计的条件。计划阶段工作要点：完成目标成本分解；完成整机总体设计，形成总体方案，并向部件/子系统分解分配要求；开展部件/子系统设计；制订试验验证策略，完成试验方案设计；制订工艺总方案；确定供应商目录并启动试制生产物料的采购；确定项目适航审定基础；刷新并确定各领域策略和计划，刷新并制订端到端项目计划；刷新项目财务评估，确定项目损益预测报告和项目预算。

开发阶段

开发阶段基于计划阶段输出，开展发动机详细设计工作，输出指导生产和试验的相关图样和技术文件并同步完成工艺工装的设计和开发，开展初步验证和综合验证发动机的试制和试验工作，解决试制、试验中暴露的技术问题，并通过回归测试，具备提交鉴定验证的条件。开发阶段的工作要点包括：完成结构开发；完成试验设备的开发、制造和验收；开展服务工具和资料的开发；完成工艺工装开发；完成试

表1 试验验证内容和类别

名称	试验内容	试验类别
初步验证	发动机零部件/子系统功能、性能验证，完成整机验证任务所必须的结构强度验证，发动机整机功能、性能验证	零部件/子系统台架试验、整机地面台架试验、整机高空台试验(可选)
综合验证	发动机装机试验前规定试验(试验内容见相关标准)，必要的状态鉴定摸底试验，装机试验	零部件/子系统台架试验、整机地面台架试验、整机高空台试验(可选)、装机试验
鉴定验证	发动机状态鉴定试验(试验内容见相关标准)	零部件/子系统台架试验、整机地面台架试验、整机高空台试验(可选)、鉴定试验
客户验证	发动机客户验证试验(试验内容见相关标准)	整机地面台架试验、整机高空台试验(可选)、整机装机试验

验用例的开发；按计划开展试制生产物料的采购；开展产品试制，按试制计划开展验证用整机、部件和零组件的加工；完成初步验证及问题改进；完成装机试验前规定试验及问题改进；完成装机试验及问题改进；提交型号合格审定(TC)申请并与局方确定审定基础和审定计划，开展适航符合性审查；确定验证客户；开展可服务性需求验收；开发营销工具，开展早期宣传。

验证阶段

验证阶段开展鉴定验证发动机的试制和试验工作，完成发动机状态鉴定。开展小批量生产的准备及小批的试制工作并完成客户验证全部工作，具备批量生产和保障的能力。验证阶段的工作要点包括：完成鉴定试验验证及问题改进；完成客户验证及问题改进；完成服务能力准备；完成市场人员的赋能培训；完成小批生产的准备；开展小批生

产；完成客户需求实现结果的评估；完成各领域准备度和目标验收。

开发和验证阶段开展的初步验证、综合验证、鉴定验证和客户验证的主要试验内容和类别见表1。

结束语

科学、规范、统一地制定和划分产品开发流程的意义和作用重大，一方面流程能够指导产品开发团队正确地做事，另一方面流程能够将产品开发的优秀实践经验不断积累固化，从而不断提升航空发动机的研发能力，提供更多的满足客户要求的发动机。因此，加快开展产品开发流程的建设，形成相关机制和制度保证流程的应用落地，并在使用中不断迭代优化，既是当务之急，又是实现持续发展的保障。 **航空动力**

(韩秋冰，中国航发动力所，高级工程师，主要从事AEOS体系建设研究)