

# 航空发动机产品研发体系成熟度浅析

## Analysis to the Maturity Levels of Aero Engine Product Development System

■ 苏丽媛 孙赵伟 / 中国航发研究院

航空发动机产品研发体系建设作为一项“永远在路上”的管理变革，是一个持续迭代、螺旋式提升的过程，需要定期对产品研发体系建设的进展和状态进行审视，对后续发展和改进方向进行分析和研判，从而推动产品研发体系的不断完善与提升。其中，体系成熟度就是衡量产品研发体系完备程度和水平的一把“标尺”。

### 航空发动机产品研发体系成熟度的内涵

提到成熟度，人们比较熟悉的可能是技术成熟度（TRL）、能力成熟度等，但对于体系成熟度却相对陌生，目前还没有达成对其定义与内涵的普遍共识。笔者所在团队通过借助对技术成熟度和能力成熟度模型集成两个概念的解剖分析，尝试提出对产品研发体系成熟度内涵的解读。

所谓技术成熟度，是对特定技术的成熟度进行评估以及对不同类型技术之间的成熟度进行对比的度量系统。在使用时通常被认为是技术相对于某个具体系统或项目而言所处的发展状态，反映了技术对于项目预期目标的满足程度。技术成熟度评价是确定装备研制的关键技术，并对其成熟程度进行量化评价的一套系统化标准、方法和工具。

所谓能力成熟度模型集成（CMMI）是帮助组织改进其过程的最佳实践的集合，其前身是软件能力成熟度模型（CMM），是由美国国防部（DoD）委托美国卡耐基梅隆大学软件工程研究院（SEI）联合业界几十家著名公司研发的过程改进模型，推出后取得巨大成功，被各个领域所借鉴，并相继衍生出多

个模型。为了建立覆盖企业不同领域、指导企业全面过程改进的统一模型，2001年SEI又把有关模型进行了集成，形成了CMMI。2010年发布了CMMI 1.3版，包括CMMI开发模型（CMMI-DEV）、CMMI采购模型（CMMI-ACQ）和CMMI服务模型（CMMI-SEV）3个子模型，主要从研制、采购和服务3个方面，对组织相应过程的能力要求进行定义。CMM是一种用于评价软件承包能力并帮助其改善软件质量的方法，给出了进化阶段的描述标准，使软件组织在定义、实施、度量、控制和改善其软件过程的实践中得到不断提升。其核心是把软件开发视为一个过程，并根据这一原则对软件开发和维护进行过程监控和研究，以使其更加科学化、标准化，使软件组织能够更好地实现商业目标。

目前还没有对于产品研发体系的共识性定义。笔者所在团队对产品研发体系的内涵表述为：航空发动机产品研发体系是针对产品全生命周期研发过程的完整解决方案，以产品研发流程为牵引，以方法工具、标准和工程数据等技术基础要素为支撑，以矩阵式管理模式跨组织、跨专业协同的集成产品团队为组织

模式，以产品研发管理为管控手段，以信息系统为运行环境，全面规范和支撑航空发动机产品全生命周期研发过程，是工业技术、信息技术和工程管理深度融合的体系。

就成熟度评价对象来看，产品研发体系是产品/服务的解决方案，软件能力是软件开发组织的软件承包能力，从某种程度上来说也是产品/服务的解决方案。因此，相比于技术成熟度，体系成熟度与能力成熟度更为相近。参照能力成熟度概念，对航空发动机产品研发体系成熟度的内涵表述为：产品研发体系成熟度是一种用于评价组织产品研发能力并帮助其改善产品质量的方法和进化阶段的规范表达。其作用是使组织定义、实施、度量、控制和改善其产品的过程中更加科学、规范，使组织能力得到不断提升。

### 航空发动机产品研发体系成熟度模型

如前所述，既然航空发动机产品研发体系成熟度是对产品研发过程、能力进化阶段的规范化表达，并可以帮助改善产品质量，同时产品研发体系本身又包含了流程、方法工具、标准、工程数据、研发管理等

要素。因此，对于航空发动机产品研发体系成熟度的基本模型，笔者所在团队认为其应该由体系运行结果（即体现产品研发质量、成本、周期等）、过程与能力、体系要素支撑情况等3方面构成，如图1所示。

在顶层业务结果维度，主要从产品研发质量、成本、效率、技术竞争力等方面对体系成熟度进行评价。考虑到产品研发体系对组织产生作用的外在表现主要体现在产品业务表现上，成功产品的背后其实是成熟体系的有效支撑。对产品的质量、成本、研发效率等进行综合评价，也是产品研发体系是否有效达成其作用目标的考量，从最终效果上衡量其成熟程度。具体来说，对产品质量的评价可以包括客户满意度、交付用户后的产品缺陷发生率或故障率等；对产品成本的评价可以包括研发费用执行偏差、目标成本达成情况等；对研发效率的评价可以包括项目进度偏差率、异常终止项目率、人均有效研发时间等。

在中间过程与能力维度，主要

执行过程中研发能力的支撑与积累情况等评价。产品研发过程的执行情况评价应围绕企业建立的产品研发端到端流程展开，通常包括产品规划、产品开发、技术规划、技术开发等主要环节，以及相应的支撑流程环节。对研发过程执行情况的评价主要包括是否站在产品成功的端到端视角，将项目管理、研发、制造、采购、服务等各业务域活动进行了有效集成和协同，相关业务人员是否真正按照既定的过程规范地开展研发活动等。对研发能力支撑与积累情况的评价，主要包括是否对研发过程执行所需的能力有清晰的要求，是否形成并持续度量能力基线，是否形成了有效的知识规划、知识管理、知识使用效果回顾分析等知识闭环管理，是否有统一的人员培养体系及职业发展通道等。

在底层体系要素支撑维度，主要结合产品研发体系总体架构对于体系要素的定义，对是否形成了完备、清晰、规范的体系要素进行评价。航空发动机产品研发体系包含研发流程、方法工具、标准、工程

数据、研发管理等要素以及信息化支撑，对体系支撑的评价可以包括是否形成了定义清晰、规范统一的端到端研发流程，流程是否科学、完备；方法工具、标准是否能够有效支撑流程运行，能否有效指导和规范人员开展业务活动；工程数据标准是否统一，是否具有可追溯性，是否持续积累并挖掘形成产品研发所需的知识空间；研发管理是否形成有效的分层分责管理框架，责与权清晰、匹配，是否围绕统一的项目目标开展过程管理和结果度量评价，研发团队运作是否能够有效支撑项目级目标的达成、运作是否规范、评价与激励导向是否合理等；信息化建设是否实现了对业务的有效支撑，是否能够持续监控信息技术（IT）产品运行情况、挖掘用户诉求并主动优化等。

## 航空发动机产品研发体系成熟度等级划分

基于业务结果、过程与能力、体系支撑3个维度的产品研发体系成熟度评估模型，结合能力成熟度评估模型集成等方法论与研究成果，笔者所在团队将航空发动机产品研发体系成熟度设置为5个等级，如图2所示，分别是初始级、已管理级、已定义级、已量化管理级和卓越运营级。各等级的具体标准和特征描述如下。

成熟度1级——初始级。过程通常是随意和混乱的，成功依赖于组织中个人能力。

成熟度2级——已管理级。项目按照战略目标策划和执行过程；项目雇用有技能的人员并且具备相应的资源来产生受控的输出；有相关人员对执行过程进行监督、控制

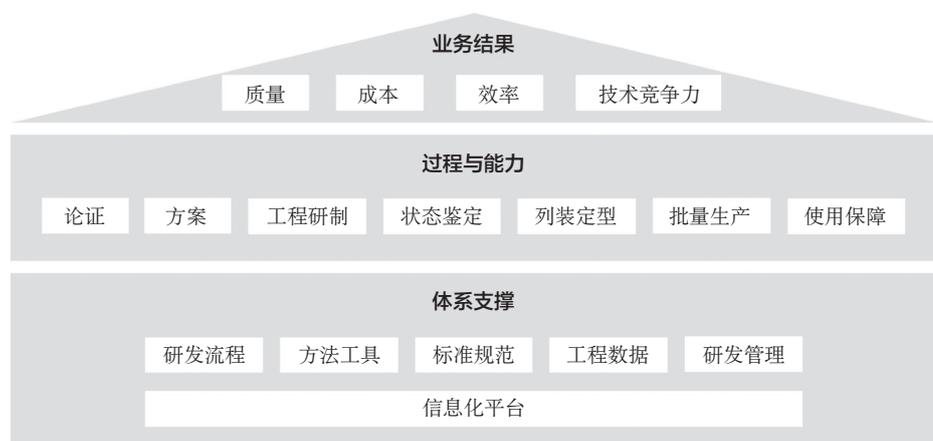


图1 航空发动机产品研发体系成熟度基本模型示意图

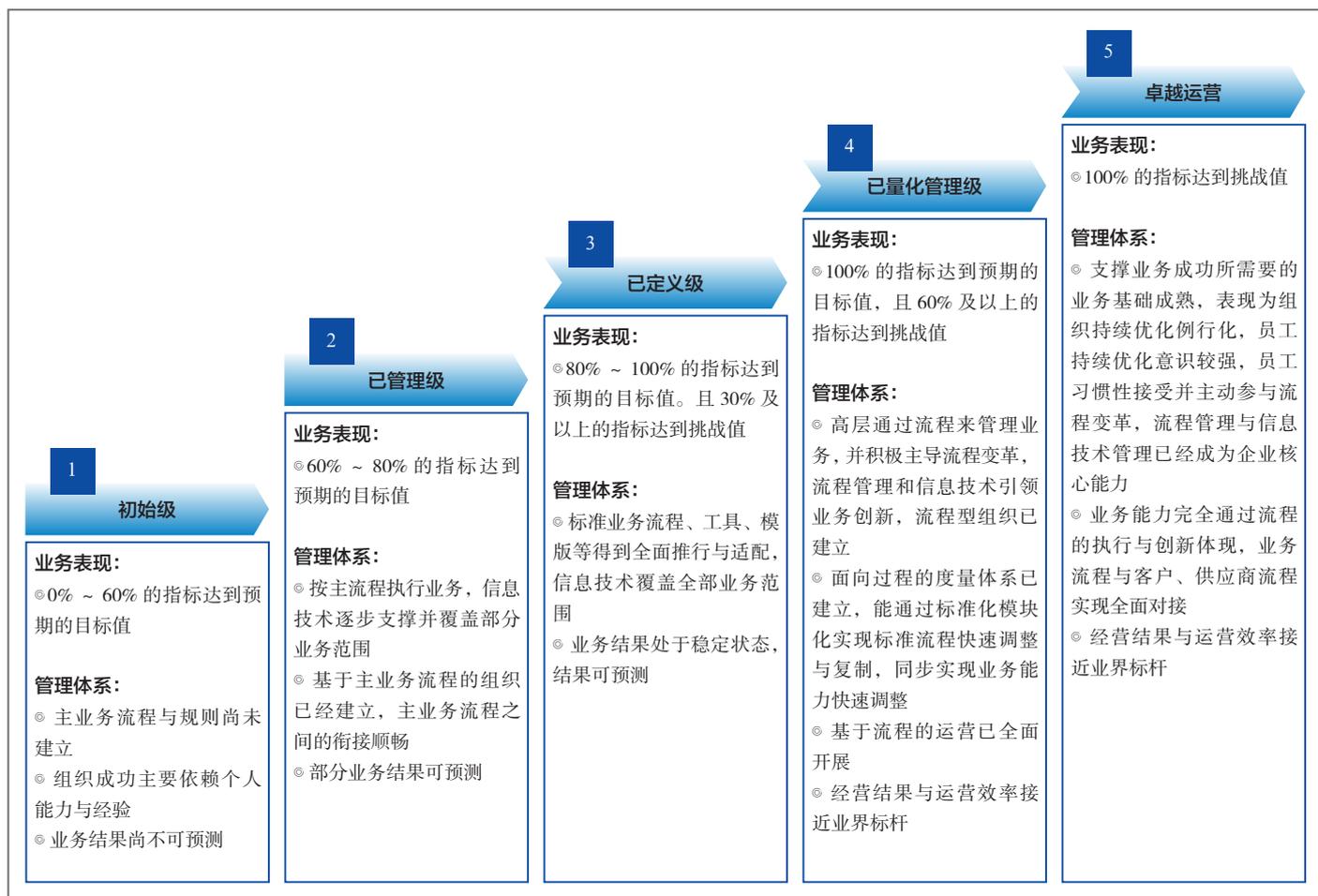


图2 航空发动机产品研发体系成熟度等级示意图

和评审，并且评价其与过程定义的符合度。成熟度2级反映产品研发过程能够按照既定的过程规则来推进，确保项目能够被有效地管理和实施。

成熟度3级——已定义级。对过程已经有非常清晰和标准化的描述和定义，并在标准、规程、工具和方法中进行说明；项目通过明确的剪裁规则对上述标准化的过程进行剪裁使用；组织能够按照战略目标稳定地输出满足用户需求的产品。成熟度3级的特征是组织建立了标准过程并能够随时进行改进，这些标准过程用于建立企业内的一致性。

成熟度4级——已量化管理级。组织建立了项目质量及过程性能的

量化目标，并在项目中使用。量化目标是基于最终用户、组织本身和过程实施者的需要，利用统计术语来了解质量和过程性能，并在项目全生命周期过程中对其进行管理。量化管理的重点是明确过程之间的关系以及它们对达到质量和过程性能目标的影响，从而将组织资源和管理重心应用到对业务产生最大整体价值的地方。达到成熟度4级，可以实现对过程性能的完全可预见性。

成熟度5级——卓越运营级。成熟度5级的核心是“持续优化以实现卓越运营”。组织基于对其战略目标和绩效需要的量理解，通过创新的过程和技术提升，持续改进组

织的质量和过程性能。

上述5级成熟度层层递进，每个成熟度级别的形成是下一个级别的必要基础。在1级基础上，通过建立基本的过程定义，可以使产品研发项目从随意状态提高到有序状态（达到2级）；在此基础上，提升组织级过程管理能力，同时深化具体业务过程要求，可以实现多项目之间的过程统一化和标准化（达到3级）；只有达到组织内部过程的统一化和标准化，针对过程的量化度量、绩效基线建立和管理以及基于量化的革新和改进（4级和5级）才有基础。通过建立逐级上升的成熟度等级，有助于组织找准定位和目标，规划

出清晰的体系成熟度提升路径。

## 航空发动机产品研发体系成熟度评估方法

在建立航空发动机产品研发体系成熟度模型和等级标准的基础上，要对体系成熟度进行评价，还需要建立一套完整的体系成熟度评价方法，包括详细的评估流程和一套标准化的评价细则。

对于评估流程，可以参照CMMI标准评估方法以及标杆企业最佳实践来制定。表1给出了标准评估流程示意。

在评估计划和准备工作完成后，评估团队就需要利用标准化的评价细则得到成熟度等级。通过理解组织的相关战略、访谈项目相关人员执行过程的做法、检查过程输出结果和有关资料以及对当前的业务现状进行研讨等环节，详细记录实际产品研发过程实施情况，并与标杆企业最佳实践进行对比，对发现的问题进行归类、归因和归根分析，从而判定评价模型中3个维度的满足情况，按照评价细则进行打分，最终得出体系成熟度等级。图3展示了

表1 标准评估流程示意

开始		
第一步：评估计划和准备	第二步：执行评估	第三步：结果报告
过程1.1 分析需求	过程2.1 查找客观证据	过程3.1 传递评估结果
过程1.2 制订评估计划	过程2.2 证据确认和验证	过程3.2 评估材料归档
过程1.3 筹建评估组	过程2.3 文档化相应证据	
过程1.4 初始信息收集和分析	过程2.4 产生评估结果	
过程1.5 客观证据采集准备		
结束		

表2 体系成熟度等级判定一般过程

评估步骤	客观证据收集与查找	过程实施情况判定	评价模型3个维度的满足情况判定	过程符合情况打分	成熟度等级判定
内容	理解组织战略、访谈相关人员执行过程的做法、检查过程的输出物、研讨业务现状	完全执行 大部分执行 部分执行 未执行 不相关	满足 部分满足 不满足	要点打分 关键过程打分 维度打分	1级 2级 3级 4级 5级

基本评估方法示意，表2展示了体系成熟度等级判定的一般过程。

## 结束语

航空发动机产品研发体系的研究与建设正在进入深水区，对产品研发体系成熟度的认识与理解尚处于探索阶段，对于体系成熟度评价模型、等级定义、评价细则等还有大量细致的工作要做。但无论如何，体系成熟度的研究对于建立我国航空发动机产品研发体系的迭代提升机制、逐步推进各方对于产品研发体系及其优劣程度的共识，都具有极其重要和深远的意义。

航空动力

(苏丽媛，中国航发研究院，高级工程师，主要从事系统工程和产品研发体系相关研究工作)

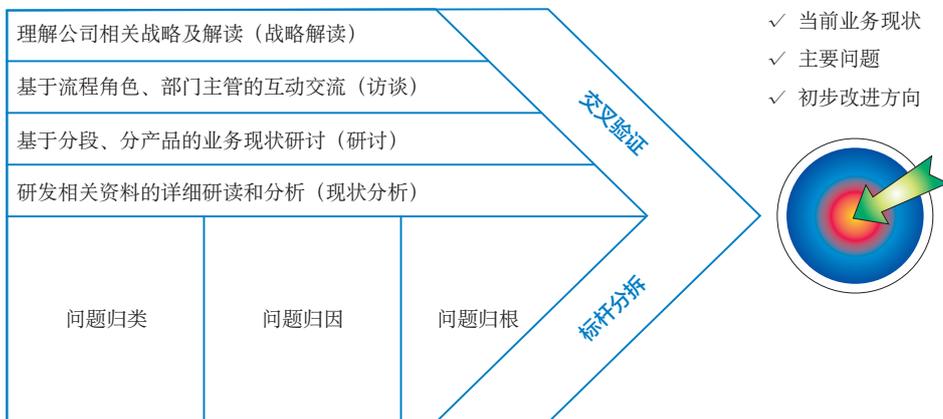


图3 基本评估方法示意图