

技术管理在航空发动机研发中的应用研究

Application Research of Technology Management for Aero Engine Research & Development

■ 宁怀松 张德志 王艳丽 李昌红 谈梦妮 / 中国航发动动力所

航空发动机的研发涉及热力、气动、结构、强度、振动、寿命、燃烧、传热、控制、润滑、电气、工艺、材料等众多学科。为实现综合最优，在航空发动机研发中普遍采用系统工程方法。技术管理是系统工程的重要组成部分，是项目管理和技术开发团队之间的纽带。

技术管理是指为保证技术过程的顺利开展而进行的一系列管理活动，一般用来建立、演进和执行计划，管理系统跨界面的交流，并按计划评估项目的实际成果和进度，实现对项目计划执行情况的控制，同时辅助决策过程的开展直至项目的完成。

技术管理过程偏重于产品系统工程活动中的管理部分，通过对产品的技术方面建立规划、监控、评估、管理和控制等活动，用于控制研发活动的执行，从而确保系统能够成功实现。技术管理活动一般具有全局性和跨阶段性，即在产品整个生命周期或多个阶段均会进行，单独的技术管理过程也可在全生命周期的任何时候和任何层级被引用。因此，技术管理过程是项目管理和技术开发团队之间的纽带，能够提供统一、完整的技术管理方法，用于支持项目的有效实现，以保证系统最终能够满足利益攸关方的需要。

综上所述，若想成功地实施系统工程，需要在技术和管理两方面努力。尽管技术通常被认为更加重要，但只有技术却没有良好的管理，型号也不可能取得成功。为确保型

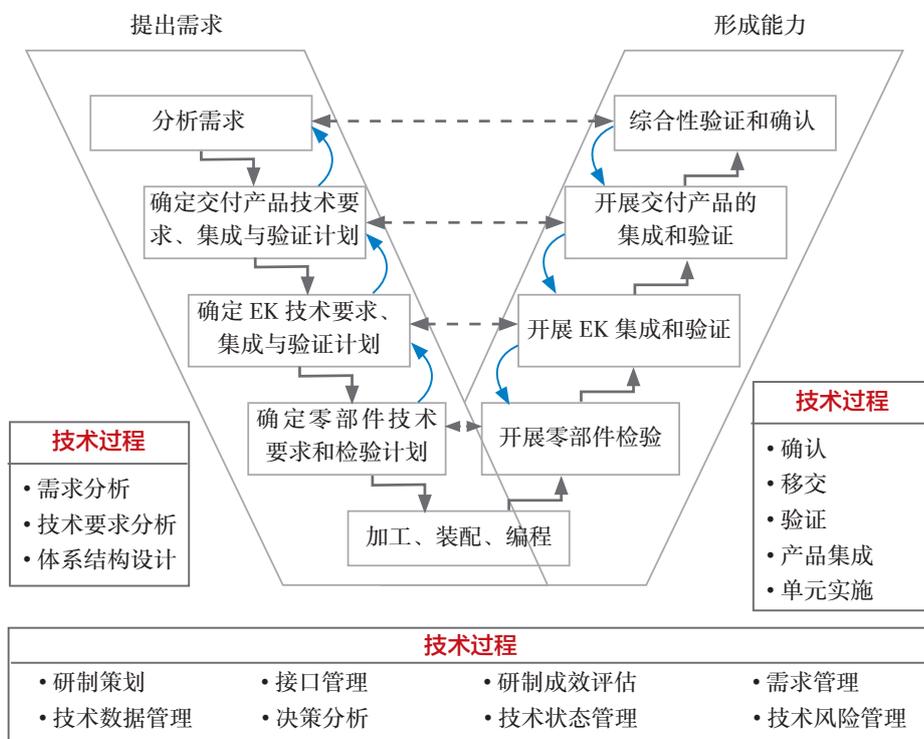


图1 GJB 8113中规定的技术管理过程

号的交付成果满足或超出用户期望，在型号研发中必须随着技术工作的开展同步进行技术管理工作。

技术管理的主要工作

当前，我国的航空发动机研发是按照GJB 8113《武器装备研制系统工程通用要求》开展系统工程工作的，其中关于技术管理工作的设置包括

研制策划、需求管理、技术状态管理、接口管理、技术数据管理、技术风险管理、研制成效评估和决策分析等（如图1所示）。

研制策划

应制订武器装备研制计划，明确系统工程过程的具体活动和工作分解，工作分解结构要求具体见GJB 2116《武器装备研制项目工作分解

结构》，任务说明要求具体见GJB 2742《工作说明编写要求》。

需求管理

应在武器装备研制全过程实施需求管理，建立需求和技术要求的追溯系统，记录、跟踪技术要求的分解、分配和变更，以及维护需求与技术要求的双向追溯。

技术状态管理

应在武器装备研制全过程实施技术状态管理，具体要求见GJB 3206《技术状态管理》。

接口管理

应明确武器装备各组成单元之间的接口定义，以及武器装备与其他有互连、互通、互操作要求的系统的接口定义，确保接口定义完整并符合相关规定，具体要求见GJB 2737《武器装备系统接口控制要求》。

技术数据管理

针对武器装备研制过程中生成的和使用的技术数据，应明确其采集、访问、分析处理和发布使用等的程序和要求。进行技术风险管理应制订并实施技术风险管理计划，将其纳入武器装备研制项目风险管理的整体统筹考虑，具体要求见GJB/Z 171《武器装备研制项目风险管理指南》。

研制成效评估

应在武器装备研制全过程中开展技术审查，具体要求见GJB 3273《研制阶段技术审查》。技术审查的安排应纳入武器装备研制计划；针对武器装备的关键技术参数，应进行持续的监测和分析预测；对于武器装备的关键技术和关键制造工艺，应开展成熟度评价，明确其应用于武器装备研制项目的准备就绪程度。对于关键技术的成熟度评价，其具

体要求见GJB 7688《装备技术成熟度等级划分及定义》和GJB 7689《装备技术成熟度评价程序》。

决策分析

在择优选择方案时，应开展决策分析，如系统分析、费用—效能分析、权衡优化研究等，决策分析贯穿于武器装备研制的各环节、各领域的方案优化和选定，对于费用—效能分析，其具体工作要求见GJB 1364《装备费用—效能分析》。

技术管理在研发中的应用思路

技术管理在航空发动机研发中的应用，首先要确保相关工作的真正开展，避免“两层皮”现象；其次，要按照GJB 8113的要求，开展技术管理相关方法的研究，建立指导文件，确保规范、高效地开展工作；最后，还应建立跟踪、反馈机制，对技术管理工作的开展情况进行评估，确保实施效果。具体思路包括如下几点。

一是确保在发动机研发流程中包含了技术管理工作。研发流程规定了发动机研发中应开展的工作，在流程或流程文件（规范、模板、指导书、检查单等）中应完整、充分地体现技术管理活动，并按照流程要求完成这些活动。

二是建立技术管理相关指导文件。结合发动机研发实际，开展技术管理方法研究，形成相应的流程、规范、指导书、模板、检查单等工作指导文件，并纳入产品研发体系中，确保研发流程中技术管理工作规范、高效地完成。建立指导文件时，要注意从承研单位的视角充分分析军方、飞机方用户对技术管理

工作的要求，并结合实际将这些要求转换为承研单位需开展的具体工作。上述过程中要确保对用户要求内容的覆盖性和追溯性，如技术评审的内容要满足相关国军标的要求，确保技术管理工作的有效、高效。

三是建立跟踪和反馈机制。技术管理发挥着对型号研发技术活动开展情况的监控作用，其开展情况也反映了型号研发的进展，因此有必要建立技术管理工作的跟踪反馈机制。建议重点关注和研发进程密切相关的技术管理活动，如研制成效评估（技术评审、技术成熟度评定）、技术风险管理、需求管理、技术状态管理、决策分析等，并结合型号研发实际，提取出需要跟踪、反馈的重要信息（比如评审的完成情况、技术成熟度评价结果等），形成可视化的看板。

技术管理在研发中的体现形式

GJB 8113包含了8项技术管理活动，这些活动的开展形式和要求并不完全相同，因此在型号研发中的体现形式也存在差异。

作为技术流程运行的一种载体

这种形式主要适用于研制策划。研制策划关注的是型号研发中需要完成的技术活动以及活动的顺序，采用工作分解结构（WBS）和工作说明（SOW）进行描述。按照GJB 2742A—2017《工作说明编写要求》，SOW一般作为合同的附件，与合同起草工作协同开展，并随合同进行评审和批准，其内容的范围由WBS确定。SOW的“要求”章节包括总要求、设计工作要求、制造工作要求、试验工作要求、使用保障工作要求、

项目管理工作要求、资料提交要求、交付及验收要求、进度要求、信息反馈及质量监督要求等，内容非常全面。其中，项目管理工作要求包含技术状态管理、风险管理、研制成效评估、数据管理、决策分析等工作。可见，研制策划和其他7项技术管理工作不同，是统领型号研发工作的。

WBS编制时，应保持和技术流程的一致性，WBS的不同层级应和技术流程的相应层级对应，可以认为，WBS是某种视角下的技术流程，按照WBS开展工作，也即实施了技术流程。从这个角度看，研制策划是作为技术流程运行的一种载体存在的。

建立独立的流程并与技术流程交互

这种形式主要适用于技术状态管理和需求管理。型号研发中，技术状态管理早已经成为必须开展的工作，近年来需求管理也得到了高度的重视。鉴于这两项工作的重要性，有必要建立独立的流程，并实现和技术流程的有效交互。

技术状态管理是指应用技术和行政管理手段对产品技术状态进行标识、控制、纪实和审核的活动，是有关产品基线定义、产品标识和更改管理的规范化、文档化的综合过程，以确保在研制、生产、使用和维护的任何时刻都能使用正确的文件。技术状态管理的主要目标是确保产品能够按预定的设计功能执行，并且其物理技术状态能够被充分地标识和文件化，以实现产品的可重复生产，并满足运行、维护、修理和更换等预期的需求。技术状态的标识、控制、纪实、审核等4项活动是相辅相成、互相促进的，这

些活动形成了技术状态的闭环管理，确保了技术状态管理与监督目标的实现。研发单位一般会专门制订技术状态管理工作程序，明确上述4项活动的具体开展流程和要求。

需求管理主要用于控制发动机各层级上的需求捕获，跟踪记录需求的分解、分配和确认，保证需求的正确性、完整性和可追溯性；形成需求的验证和确认计划，并管控需求的验证和确认过程及结果，保证发动机产品及其各部分的需求符合性；管控全生命周期、各层级研发对象的需求变更，保证发动机及其各部分之间的设计结果协调一致，各循环的设计结果逐渐趋于优化。

分布到技术流程中

这种方式主要适用于研制成效评估、技术风险管理和决策分析。按照GJB 8113的要求，应在发动机研发的全过程、各层级开展技术评审工作，且技术评审应与发动机研发系统工程过程的技术活动协调一致；按照GJB/Z 171的要求，技术风险管理应与发动机研发的技术过程相结合；决策分析则是无处不在，大到发动机的构型选择，小到零件的结构参数的确定，均涉及到决策分析。可见，技术评审、技术风险管理、决策分析都是对技术活动的过程或其结果进行评估、决策的，因此，将相关活动分布到技术流程中，并配套相应的规范、指导书、检查单、模板等，可以确保这3项工作的顺利开展。

体现到其他技术管理工作中

这种方式主要适用于接口管理。接口管理是为了确保所设计的各种硬件、软件之间的兼容性和共用性。飞机会对发动机提出接口控制要求，

发动机总体专业承接后，会将这些要求分解、分配到部件/子系统，最终落实到零组件层级。这个过程和需求的分解、分配相同，所以在实践中可将接口管理纳入需求管理中。

体现在信息技术系统中

这种方式主要适用于技术数据管理。技术数据管理和其他技术管理工作存在一些不同，按照GJB 8113的描述，技术数据管理关注的是数据采集、访问、分析处理和发布使用等方面的要求，而随着信息技术（IT）的发展，这些工作要求完全可以集成到IT系统中，而且从数据的有效使用方面，也应将技术数据管理方面的要求体现在IT系统内部的逻辑中，这是一种常用且合理的实现方式。

结束语

技术管理工作意义重大：一是确保技术管理工作的开展，在型号研发中，不同研发单位应根据本单位技术管理工作现状及型号实际情况、工作重点等，合理选择技术管理工作的开展方式，但应确保真正开展；二是进一步开展技术管理相关方法的研究，发动机目前研发的技术管理方法尚未完全成熟，还需要基于承研单位视角进一步开展研究，并注意方法的适用性；三是进一步明确各技术管理工作之间的关系，GJB 8113规定的8项技术管理活动之间并不是完全独立的，为更好地开展技术管理工作，需要明确它们之间的关系，确保相关工作不重复、不遗漏，高效、协调地开展。

航空动力

（宁怀松，中国航发动力所，高级工程师，主要从事系统工程研究和航空发动机研发体系建设）