

# 基于系统工程的商用航空发动机研制需求管理方法研究

## System Engineering-Based Requirement Management Method for Commercial Aeroengine

中航商用航空发动机有限责任公司 罗婷婷

**[摘要]** 针对大型商用航空发动机研制中的需求管理问题,提出并研究基于系统工程的发动机需求管理方法,构建商用航空发动机需求管理系统,对某型商用航空发动机控制系统研制需求进行有效管理,建立了需求的跟踪关系,有效保证了设计结果与研制需求之间的一致性。

**关键词:** 商用航空发动机 系统工程 需求管理

**[ABSTRACT]** In order to solve the problem of requirement management in the commercial aeroengine development process, the aeroengine requirements management method based on system engineering is proposed and studied. The civil aeroengine requirement management system is applied, the development requirements of commercial engine control system are managed effectively. And the consistency between design results and development requirements are ensured by the built trace relationships.

**Keywords:** Commercial aeroengine System engineering Requirement management

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.03.107

商用航空发动机研制是我国航空发动机行业面临的重大战略任务<sup>[1]</sup>,其研制过程是一项跨地域、跨企业、跨学科高度协同的复杂系统工程,具有高技术、长周期、投入大的特点,如何保证研制的最终产品能够满足客户需求是研制单位面临的重要挑战。与此同时,为持续提升商用航空发动机体系化研制能力,需要有效管控其研制过程能够满足其研制需求,降低后续发动机部件或整机试验、适航取证和服务保障风险,最终经济高效地制造出高质量的商用航空发动机。

21世纪初,随着产品复杂度的不断提升,需求管理方法逐渐被应用于国防产品研制过程中。洛克希德·马丁<sup>[2]</sup>、波音<sup>[3]</sup>、空客<sup>[4]</sup>等国外航空航天企业已经构建了以产品需求为核心的研制过程体系和平台,并在JSF、波音787、A380等型号工程中推广使用,及时监控和修正研制过程中对需求的偏离,在成本、进度、产品符合性

等方面取得了突出成效。在航空发动机行业中,Rolls-Royce<sup>[5]</sup>公司在JSF的F135发动机研制中采用需求管理工具,建立了客户需求和试验之间的动态关联,并取得了巨大成功。目前,国内在大型客机设计研制过程中采用了需求管理,代表了目前的最高水平<sup>[6-7]</sup>,而在航空发动机行业,需求管理则刚刚引入,尚未在型号产品研发中得到应用。

因此,为了满足商用航空发动机复杂化、多元化和系列化的发展要求,本文以大型商用航空发动机研制为背景,采用系统工程思想,研究发动机需求管理方法,构建商用航空发动机的需求管理系统,从而提升商用航空发动机需求管理能力,实现研制需求的全生命周期管理。

### 1 需求驱动的商用航空发动机研制

需求是驱动商用航空发动机研制的源头。在商用航空发动机研制过程初期,首先要根据需求定义潜在的客户和供应商等,确定为满足需求所必需完成的研制工作。商用航空发动机研制的需求驱动源如表1。

表1 商用航空发动机研制的需求驱动源

需求类型	需求描述
市场需求	市场对发动机定位、性能需求,包括国家发展战略需求、市场产业发展需求、市场经济效益需求等,如商用航空发动机燃油经济性和环境友好性(低污染、低噪声)等
客户需求	客户对发动机功能和服务的需求,如商用航空发动机的性能(推力、巡航耗油率)、运行成本、可靠性和使用寿命、交付时间等
技术需求	发动机研制过程对工程设计、材料工艺、制造方法、试验测试等关键技术的需求,如商用航空发动机研制过程中所需的大涵道比发动机总体方案设计技术、钛合金整体叶盘/叶环制造及修复技术等

在航空发动机研制过程中,从获取需求开始,到需求分析、分解,再到研制发动机、最终提交符合质量要求的发动机,以保障发动机的安全使用,研制业务都围绕发动机需求而展开。难以满足研制需求、跟踪需求、管理需求变更,是很多发动机研制项目延期、超出预算甚至失败的关键原因。

## 2 商用航空发动机需求管理

商用航空发动机需求管理是用于获取、实现和记录发动机需求,并让用户和发动机研制团队在发动机变更需求上达成并保持一致的系统化方法。

商用航空发动机全生命周期需求管理的目的是要研制出真正满足客户需要的航空发动机。通过对航空发动机研制过程进行详细分析,明确研制过程各阶段产品需求所包含的内容和特点,以及不同阶段中所涉及到的信息分布、交互与使用情况,使研发人员始终明白具体任务和工作依据,严格遵守需求版本和需求变更管理规范,保证需求演变的可追踪性,最终研制出同需求保持一致的、高质量的航空发动机。商用航空发动机需求管理主要包括以下 5 项核心业务:

(1) 研制需求的集中管控。通过航空发动机研制需求集中管控,促使客户、研制团队和供应商达成统一的发动机研制目标,通过需求管理系统显示统一的最新需求信息以及其他由需求分析演化而来的研制信息。(2) 研制需求分析演化的全流程跟踪。航空发动机研制需求管理的核心是研制需求的全流程跟踪,记录“整机需求→系统需求→子系统需求→软硬件需求”的需求信息转换过程及需求驱动的产出物,着重关注层次需求信息之间的关系跟踪性。(3) 研制需求确认与试验验证。商用航空发动机由众多团队、厂商协同研制。发动机研制需求管理通过建立功能要求和验收标准/试验计划之间的关联,为发动机系统试验验证与整机集成试验验证提供高效支持。(4) 研制需求变更管理。发动机研制周期长,如何评估某个变更对整个发动机及其若干系统的影响,变得非常关键。需求管理要通过需求跟踪视图来帮助相关责任人分析需求的关联关系和影响程度,有效掌控并详细记录发动机每个需求的变更。

(5) 发动机研制需求重用。发动机需求管理将把发动机研制的重要资料以及他们之间的相互关系记录和保持下来,创建并维护可重用的需求资产以总结和沉淀经验与“智慧”,将极大方便和加速后续系列型号的研制。

## 3 基于系统工程的航空发动机研制需求管理

系统工程是一种在考虑生命周期、客户需求及设计和工程项目的流程和技术管理的基础上,能实现成功

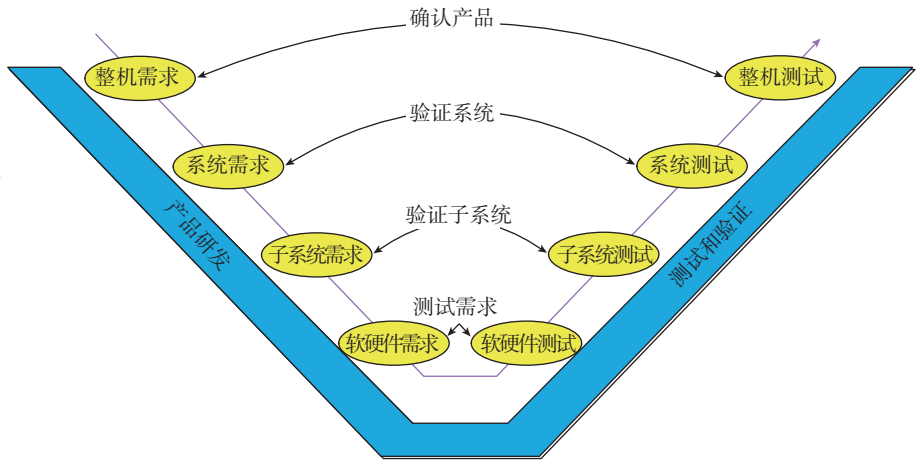


图1 商用航空发动机研制需求的确认和验证

Fig.1 Validation and verification of commercial aeroengine development requirement

地、系统地、跨学科地管理的方法和手段<sup>[8]</sup>。采用系统工程方法,有效保证产品能在充分合规的条件下研制,从而减少可能影响客户需求和发动机安全性的错误。系统工程的V字模型如图1所示。

图1描述了商用航空发动机研制需求的确认和验证过程。需求产出物的关联关系体现在整个研制活动中,反映了研制过程与验证过程的关系。因此,采用系统工程方法能够使产品更好地满足研制需求。

商用航空发动机研制采用“主制造商—供应商”的模式,从总体方案论证、初步设计、详细设计,到适航取证,各阶段设计阶段的需求文件,要从顶层设计需求逐步分解。各层次需求间具有相互依赖的关系,有下层对上层的支持,同时要逐步确定适航审定基础,安全性、维修性等要求能逐步落实。因此,采取合理科学的需求管理方法和流程显得尤为重要。商用航空发动机研制生命周期的需求管理流程如图2所示。

商用航空发动机研制的需求管理流程分为整机需求、系统需求、子系统需求和软硬件需求4个层次。每个层级的需求通过分析或说明的方式在下一个层级中确认,进而将需求逐层细化至最基本的软件和硬件需求,以指导软硬件设计。同时,通过对软硬件的测试实现对软硬件需求的验证,进而逐层验证上一层级的需求,这种具有追溯性的方法有利于需求更改管理和发现需求更改对其他需求或研制活动的影响。由此,实现商用航空发动机设计需求的确认和验证过程。

## 4 商用航空发动机需求管理系统及其实现

采用基于系统工程的商用航空发动机需求管理方法和需求管理系统建模方法,构建了商用航空发动机研制需求管理系统,实现了某型号商用航空发动机控制系统研制需求的结构化管理,将燃油控制、健康管理、起

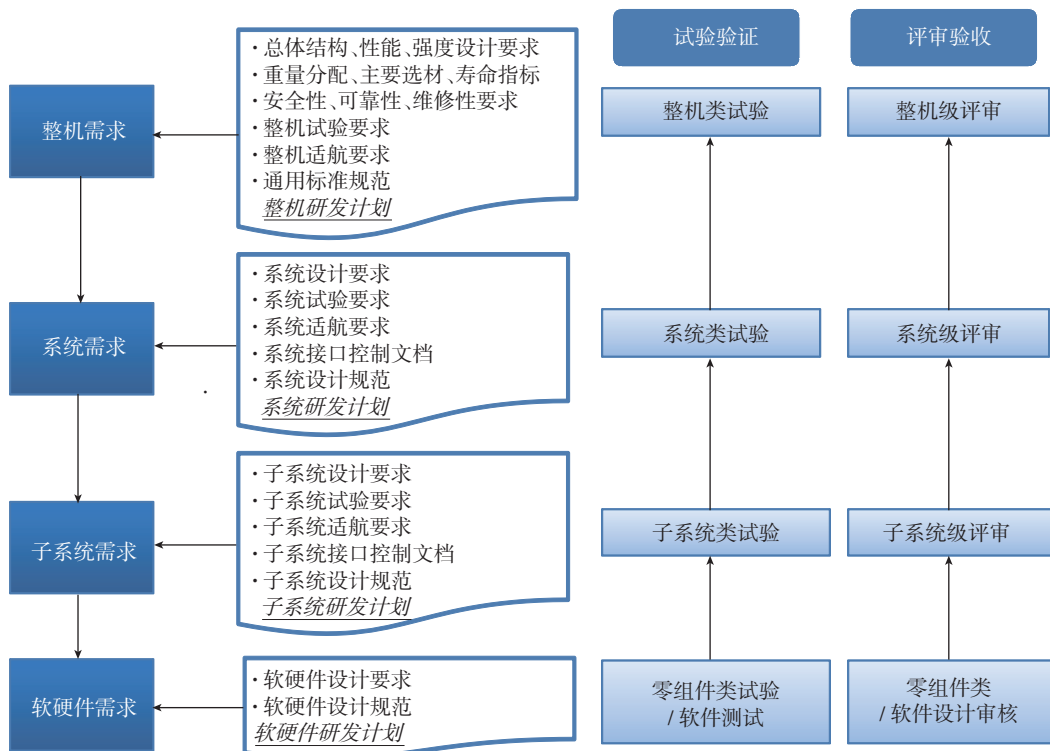


图2 商用航空发动机研制的需求管理流程

Fig.2 Commercial aeroengine development requirement management process

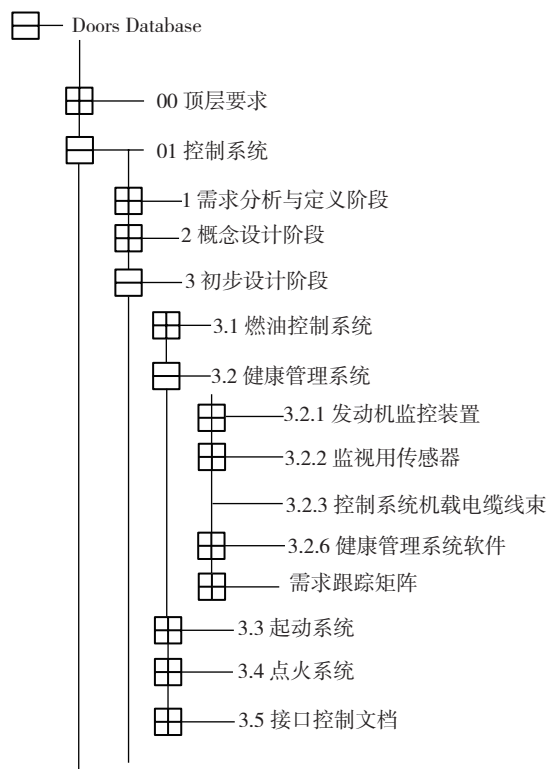


图3 商用航空发动机需求管理系统数据库结构

Fig.3 Commercial aviation engine requirements management system database diagram

动、点火、机械、外部与短舱等系统技术活动全部纳入有效管控。如图3所示为商用航空发动机需求管理系统中的数据库结构,如图4所示为商用航空发动机需求导入需求管理系统示意图。

234	8 电缆线的重量要求	H
294	根据燃油控制系统设计技术要求, 控制系统电缆线重量不大于12.8kg。	D
295	9 电缆线束的环境要求	H
296	电缆线束材料如导线、电连接器、屏蔽材料和护套材料应满足高电气性能要求, 还应满足所使用的环境要求, 如环境温度、压力、振动、污染物、雷电、高辐射电磁场、电磁脉冲、电磁兼容性、静电电压等。	K

图4 商用航空发动机需求导入需求管理系统示意图

Fig.4 Importing demand management system into commercial aeroengine

采用商用航空发动机需求管理系统,实现了约150份各层级需求、技术要求文档的条目化、审计和链接;通过CQ派遣2700个任务,提交250多份问题报告、120份变更申请,建立70个基线,实现了发动机研制进展和技术变更的严格管控;实现了控制系统需求的分析和再次确认,并自动生成需求规格、产品规范和接口控制文档,实现需求向机械、外部与短舱等子系统需求的分配以及产品规格、接口控制文档间的传递。

## 5 结论

商用航空发动机研制需求管理能够有效保证发动机从用户需求、系统需求到产品研制各阶段需求的一致

(下转第112页)

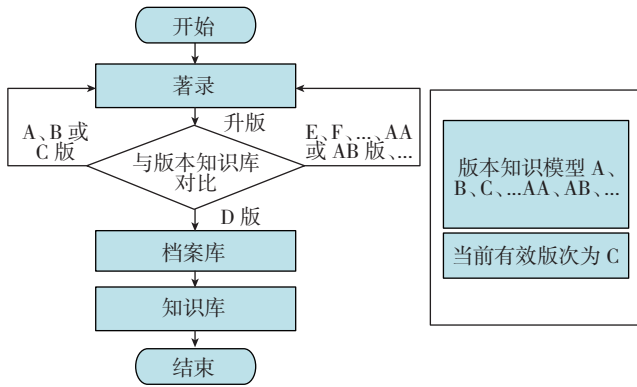


图2 版本有效性控制流程图

Fig.2 Flow chart of version effectiveness control

使这些信息进一步提升、优化为企业的知识资源, 汇入企业共享知识库。并对外向用户提供丰富的应用功能, 包括智能检索、分类、聚类、信息关联、个性推送等。最终实现了企业信息资源的有效整合、智能化管理、方便利用, 充分发掘企业知识资产的价值。

### 3.3 构建培训知识模型, 提高工作效率

显性知识的管理通常相对分散, 对显性知识的挖掘整理也没有太多的关注, 往往属于个人管理, 别人使用很不方便。对于显性知识的管理, 最好用一定的方法和手段将其收集、整理、分类、共享, 在此基础上开展专项培训, 方便用户学习和应用。许多人不知道自己头脑中的哪些是大家需要的, 自己头脑中的隐性知识显性后不受大家欢迎, 这就需要有一个知识管理的平台, 帮助大家把头脑中有用的隐性知识显性化并呈现给大家, 好的平台、文化与制度使用户有交流共享的平台, 使人人成为知识的共享者、传播者, 同时人人又都是受益者。同时在数据有效性控制方面对易于出错的地方开展不厌其烦的培训, 并针对不同的培训对象编制不同的培训教案, 开展不同的培训, 根据实际情况进行分析后制定培训计划, 建立起知识管理的培训机制, 提供知识管理理念和实际操作的培训服务。

### 3.4 构建版本知识库, 实现数据有效性管理

分析技术资料版本管理的特点, 构建版本存储模型库, 对发生冲突版本版次自动在版本模型库中校正, 当冲突解决后才能继续进行下一步操作。以下提供一个版本控制模型解决方案实例:

在技术资料的版本知识库中, 假设存储技术资料版本顺序为 A、B、C、D、...、AA、AB、..., 某份技术资料的当前有效版本为 C 版, 再次分发时版本信息应该按照版本知识库中的版本顺序进行分发, 那么著录该资料的 B 版时, 与知识版本信息就会发生冲突, 版本知识库提示 B 版该资料已经分发过, 并且已经失效, 当前有效的版次为 C 版, 若要升版, 请著录版次信息为 D 版进行下

发; 如果著录该资料的版本信息为 F 版, 那么版本知识库同样会发出冲突提示, 该资料的当前版次为 C 版, 若要升版, 请著录版次信息为 D 版进行下发。版本相同时, 提示数据重复, 著录技术资料版本无效。版本有效性控制流程图如图 2 所示。

## 4 结束语

以知识管理理念和理论为指导, 通过多种形式和内容的服务, 搭建起畅通的知识管理体系架构环境, 最大程度避免数据有效性控制中出现的差错, 为航空工业的安康快速发展提供科学决策的可靠根据和有效的知识资源服务, 从而提升数据有效性管理水平和管理效率。

### 参考文献

[1] 商广娟. 有效的数据质量管理体系——21 世纪管理的基石. 航空标准化与质量, 2005(2):18-22.

(责编 亿霖)

(上接第 109 页)

性, 引入系统工程思想, 研究发动机需求管理方法和需求管理系统建模方法, 并以某型号发动机为对象, 在构建的商用航空发动机需求管理系统上验证了方法的合理性, 保证了发动机研制过程中设计结果和研制需求的一致性, 从而为商用航空发动机研制过程中实施需求管理提供借鉴。

### 参考文献

[1] 刘大响, 金捷, 彭友梅, 等. 大型飞机发动机的发展现状和关键技术分析. 航空动力学报, 2008, 23(6):976-980.  
 [2] Robert G S. Systems engineering and the joint strike fighter: the flagship program for acquisition reform. Acquisition Review Quarterly, 2000, 7(3):221-231.  
 [3] Mike G. Before opening DOORS—Best practices planning at boeing. Boeing Management Company, 2010(10):1-25.  
 [4] Jean-Claude R. Benefits of requirement engineering with DOORS. AIRBUS Central Entity, 2005(6):1-20.  
 [5] Christoph U, Volker S. Rolls-Royce deutschland interface management as part of requirements management. Rolls-Royce plc, 2013 (12):1-23.  
 [6] 郑占君, 陆清, 尤琦. 商用飞机研制需求管理技术研究. 航空科学技术, 2013(2):50-51.  
 [7] 郭博智, 李浩敏. 大型客机设计中的需求管理. 民用飞机设计与研究, 2013(4):1-5.  
 [8] National aeronautics and space administration. NASA systems engineering handbook. Washington:National Aeronautics and Space Administration, 2007:1-332.

(责编 亿霖)