

# 航空发动机需求追溯管理分析

朱日兴<sup>1,2\*</sup>

(1. 南昌理工学院航天航空学院, 南昌 330044; 2. 南昌市小型通航飞机维修工程技术研究中心, 南昌 330044)

**摘要:** 追溯作为系统或项目需求确认的最基本的方法,通常是将需求追溯到上级需求,或者将需求追溯到设计要求。对航空发动机安全性需求实施有效追溯和管理,提高局方对航空发动机安全性评估的信任度,是航空发动机制造企业面临的重大挑战。对航空发动机安全性需求的管理过程开展研究,分析了以需求捕获、需求分析、需求确认、需求分配、需求验证为主的需求开发活动所涉及的追溯性活动。研究了航空发动机需求分析与定义阶段、概念设计阶段、初步设计阶段、详细设计阶段、验证与取证阶段等不同研制阶段的追溯性特点及其表现形式,并提出审查活动中对航空发动机安全性需求追溯的关注要求及关注要点,以期为我国在航空发动机安全性工作的管理、安全性要求的落实提供支撑。

**关键词:** 航空发动机;需求;追溯管理;安全性评估

中图分类号: V23

文献标识码: A

OSID:



## 0 引言

航空发动机具有高耦合性、高复杂性、高集成性等特点,系统潜在的故障原因多、故障传递过程复杂,由发动机故障导致的事故也频现。在发动机安全评估分析中,追溯的作用包括两个方面,一方面为对验证过程中出现的负面结果(失效)向上游的需求进行追溯;另一方面为当某一层级的需求发生了变更,对更上游需求的影响进行追溯。鉴于此,对此类复杂产品进行有效地全生命周期管理,并在此基础上能对其实施有效追溯是航空发动机制造企业面临的重大挑战。对于商用航空发动机,需要进行适航取证,而对发动机安全性需求进行有效的跟踪与管理,提高局方对发动机安全评估的信任度,是当前亟需解决的重点。根据 ARP 4754A 的要求<sup>[1]</sup>,对需求追溯性管理都有明确要求。因此,追溯性管理是航空发动机研制过程中的重要工作之一。

关于航空发动机等复杂系统或产品的追溯管理<sup>[2]</sup>,近年来国内外学者已经开展了相关研究。例如,有将航空制造与溯源相结合<sup>[3,4]</sup>,以便加强监

管,强化管理;有通过简化构型管理方法,进行飞机的数据管理和构型追溯<sup>[5]</sup>;也有对民机适航安全而应运而生的安全性数据追溯模型<sup>[6]</sup>。在航空发动机中,相关学者在其安全性评估的追溯模型中有一定研究<sup>[7]</sup>,如物料清单(BOM)的发动机质量追溯管理信息模型<sup>[8]</sup>、系统工程的发动机安全性评估过程追溯模型<sup>[9-10]</sup>、发动机装配过程信息追溯与过程监控方法<sup>[11]</sup>。为优化从利益攸关者到发动机整机级再到子系统级(或部件级)的自顶向下的需求追踪管理,强化需求驱动的正向设计研发能力,建立完善的需求追踪体系。加强追溯在航空发动机系统安全评估过程中的作用,通过追溯性活动来增强系统安全评估的效果。本文针对航空发动机需求追溯管理活动及追溯审查要点展开研究。

## 1 航空发动机需求及追溯性活动分析

以需求为导向的工程活动一直存在于航空发动机的全寿命周期。在项目开始阶段,应通过市场调研等手段捕获飞机制造商、民航局、航空公司等客户的需求,在此基础上进行分析,以便研制人员理解来

基金项目: 南昌市小型通航飞机维修工程技术研究中心专项支持(2020-NCGCZX-011)

\* 通信作者. E-mail: zhzhui123856@outlook.com

引用格式: 朱日兴. 航空发动机需求追溯管理分析[J]. 民用飞机设计与研究, 2022(3):105-111. ZHU R X. Analysis of traceability management for aero-engine requirement[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2022(3):105-111 (in Chinese).

自市场和客户等相关方的需求,并定义发动机研制总要求,之后通过各层级的需求开发工作实现需求的全面分解与贯彻。双“V”图描述的需求工程活动是以“V”模型视角进行描述需求工程一般过程<sup>[12-14]</sup>。考虑到项目最高层级需求活动,首先需要了解利益攸关者需求,并对利益攸关者需求进行定义,需求开发主要活动可进一步具体,如图 1 所示。

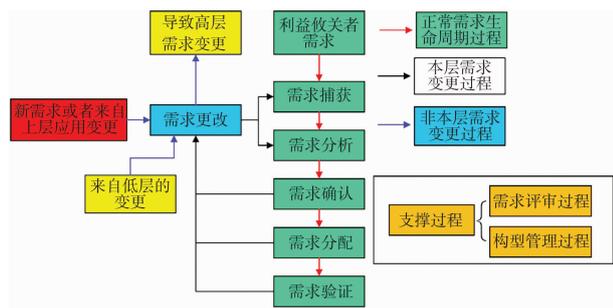


图 1 需求开发主要活动

利益攸关者需求与需求捕获的区别在于,利益攸关者需求主要是将发动机视为整体获取与符合利益攸关者的需求。而需求捕获则是任一子系统需求开发的起始环节,是系统各层级需求开发工作都必须完成的工作步骤。而随着大型复杂产品研制过程的深入,一方面捕获的需求数量、范围以及研发人员对需求的理解会有逐步深入的过程,另一方面市场与客户的需求也将随着研发过程不断发生变化,所以需求的变更同样也会贯穿于整个项目的生命周期。因此,当需求完成评审并获得通过后,应发布相应的需求文件。发布后的需求若发生变更,则需要按照一定的要求对需求的变更进行控制。

### 1.1 需求捕获及涉及的追溯性活动分析

#### 1.1.1 需求捕获

捕获客户需求:以商用航空发动机研制为例,需求工程师不仅需要考虑直接客户(飞机制造商)、最终客户(航空公司、发动机运营维护机构以及乘客)的需要,还需要政府监管部门(工信部、民航局等)等其他利益攸关方的需求。捕获包括运行环境、飞行循环、产品安装推力、耗油率、重量及尺寸、噪声、排放、寿命、操纵性、可靠性、安全性等方面的需求。

捕获航空公司与维护运营机构客户需求:1)客户服务周期要求;2)客户支援、商务服务及担保要求;3)工程技术支援要求;4)技术出版物要求;5)航

材支援要求;6)培训服务要求;7)修理和大修要求;8)产品报废处置支持要求;9)信息技术要求;10)与客户相关的产品一般设计要求。

捕获适航规章的要求:1)《航空发动机适航规定》(CCAR-33-R2)<sup>[15]</sup>;2)《涡轮发动机飞机燃油排泄和排气排出物规定》(CCAR-34)<sup>[16]</sup>;3)《运输类飞机适航标准》(CCAR-25-R4)<sup>[17]</sup>;4)《航空器型号和适航合格审定噪声规定》(CCAR-36)<sup>[18]</sup>。

将原始的需求以结构化形式进行分解和管理,这些结构化的需求成为所有后续开发活动的基础,并对捕获的需求进行分类,需求类型主要包括:安全性需求、功能需求、审定需求以及衍生需求。对于系统级来说,需求捕获工作主要是对利益攸关者提出的需求进行整理合并,形成产品顶层需求文档。对于子系统级来说,则是对上一级系统提出的需求进行整理合并,形成该层级需求文档。以航空发动机研制为例,通过梳理飞机方、航空公司以及适航当局等的需求形成利益攸关方需求文档;由研制总要求承接客户需求并分解落实形成整机级需求文档;由总体要求(性能、结构、强度、四性及控制设计要求)承接研制总要求形成系统级需求文档;由部件系统设计承接总体要求形成子系统级需求文档;由零部件设计要求承接部件系统设计承接要求形成更下一级子系统需求文档。

#### 1.1.2 涉及的追溯性活动分析

在需求捕获活动时,除了从利益攸关者那里直接捕获需求之外,需求工程师还需要通过运行场景分析从使用者、运营者、维护者等各个角度分析发动机在各种工况下的运行情况,充分捕获发动机整机需求。按照 Harmony<sup>[19]</sup>需求分析方法,建立需求场景(用例)之间的链接关系,用于评估需求是否完全被系统用例所覆盖,防止在进行场景分析时遗漏需求。

#### 1.2 需求分析涉及的追溯性活动分析

根据需求分析中对“可追溯”的要求,需要每一条系统需求(技术要求)都能追溯到明确的需求来源。因此,需要对系统需求(技术要求)与利益攸关者需求之间能够进行追溯管理,建立系统需求(技术要求)与利益攸关者需求之间的追溯矩阵。

变更影响分析:在产品生命周期中,需求原始的驱动要素有可能变化。利益攸关者需求的变化对系统需求有直接的影响,因此,在利益攸关者需求发生

变更时,需要基于系统需求(技术要求)与利益攸关者需求之间的需求追溯矩阵,评估变更潜在影响,决策是否接受利益攸关者需求的变更。

需求覆盖性分析:ARP 4754A《民用飞机与系统研制指南》提出了需求的正确性、完整性要求,确保系统需求是完整的,充分考虑到了客户、维修人员、审定局方等方面的需求。因此利益攸关者需求安全需要被系统需求所覆盖,即每一条利益攸关者需求都应被系统需求满足,因此,需要基于利益攸关者需求与系统需求之间的链接矩阵开展需求覆盖性分析。

### 1.3 需求确认涉及的追溯性活动分析

追溯是需求确认的方法,对于未追溯的需求,应进行评审,判断该需求是否属于下列内容:

- 1) 被获取作为研制过程的一部分;
- 2) 从遗漏的上层需求开发而来,可能需要增加该上层需求;
- 3) 需进行管理的假设;
- 4) 需求的双向循环,向下追溯可以表明较低层级的需求满足较高层级的需求;
- 5) 向上追溯可以表明系统能够满足利益攸关者的需求。因此追溯在某种程度上能够反映需求的完整性与正确性。

需求追溯的内容一般包括:1)需求;2)需求的来源;3)所属功能;4)研制保证等级;5)所使用的确认方法;6)确认的支持证据;7)确认结论(有效/无效)。

总结需求确认中涉及的追溯活动,包括需求之间的追溯(上层需求与下层需求之间满足或追溯关系的追溯)、需求确认矩阵(需求及需求确认信息的追溯)。

### 1.4 需求分配涉及的追溯性活动分析

需求分配/分解通过设计方案将系统需求分配/分解给各子系统,形成各子系统需求,涉及的追溯活动主要包括:

- 1) 需求之间的追溯管理。系统需求与子系统需求之间的追溯,通过系统需求与子系统需求之间的追溯矩阵,一方面评估系统需求都被低层需求(子系统需求)所满足;另一方面当系统需求发生变更时,评估对子系统需求的影响。

- 2) 需求与设计之间的追溯。系统需求与设计数据之间的追溯,通过需求与设计追溯,评估设计是否满足需求;此外,当系统需求发生变更时,评估系统需求对设计方案的影响。

### 1.5 需求验证涉及的追溯性活动分析

验证过程保证系统实施满足已确认的需求。需求验证按照分层的原则,从底往上逐层进行验证。以系统层验证为例,根据系统需求定义出验证需求,制定验证计划,依照验证计划采用的检查、评审、分析、试验等验证方法开展验证,形成验证结果(验证证据)。需要形成包括系统需求—验证需求—验证方法—验证数据等追溯信息链路,用于评估验证信息的完整性,此外在验证活动中,还需开展覆盖分析,用来确定在整个研制和验证工作中需求实施的程度。因此,在需求验证活动时,应开展需求验证追溯管理,建立需求验证追溯矩阵(RVTM),通过RVTM矩阵开展需求验证追溯活动<sup>[20]</sup>。

## 2 航空发动机需求追溯审查要素

生命周期的技术审查,是为基线的形成、确定、发展和落实而进行的技术审查。常见的技术审查有:系统需求审查、系统设计审查、软件规格说明审查、初步设计审查、关键设计审查、测试准备审查、功能技术状态审核、物理技术状态审核和生产准备审查等。本节主要研究航空发动机需求分析与定义阶段、概念设计阶段、初步设计阶段、详细设计阶段、验证与确认阶段的需求追溯活动检查项,同时关注与安全性相关的审查活动。

### 2.1 需求分析与定义阶段需求追溯审查点

航空发动机的需求分析与定义阶段主要的活动包括:

- 1) 识别利益攸关者并抽取需要,建立发动机运行场景分析,根据飞机工作包线定义发动机的包线(工作包线、温度包线、姿态包线等);
- 2) 确定设计约束和边界条件(重量等),定义整机推力、油耗率等效能指标(MOE);
- 3) 捕获来自利益攸关者需求(应包括客户需求、法律法规和公司标准等)进行整理合并,形成产品需求文档;
- 4) 进行功能分析,定义发动机典型的工作状态,定义发动机的功能需求;
- 5) 定义发动机热力循环参数、结构布局、整机载荷与变形等整机性能要求(MOP);
- 6) 评估各项需求及其指标的实现风险;
- 7) 初步定义发动机总体设计要 求,并进行条目化整理;
- 8) 建立需求基线;
- 9) 初步开发子系统/部件的方案,包括关键技术、维护保障技术、限制因素以及费用/风险的主要因素(风险评估);
- 10) 按照能力对关键部件进行初步评估(技术

评估,技术成熟度策略);11)对照已经界定的客户需求和环境限制因素,对总体方案进行分析/评估,验证需求是否全部满足。

需求追溯性审查点如下:

1)建立需求管理机制,包括需求管理组织架构、需求管理运行机制;2)审查利益攸关者需求与产品需求文档中的需求追溯完整性,检查所有的利益攸关者需求是否被低层产品需求文档满足;3)制定初始的需求管理计划,条目化管理利益攸关者需求,控制需求的变更,基于需求追溯矩阵,确保需求变更的影响分析充分完整,需求的变更需经利益攸关者批准;4)制定初始的确认 & 验证计划(V&V 计划),建立初始的需求确认矩阵,追溯需求确认状态;建立初始的系统 RVTM,追溯需求验证状态;5)建立需求基线,追溯需求版本信息。

本阶段与安全性相关审查点如下:

1)初步评估客户所提出可靠性、安全性指标需求;2)开展安全性策划活动,成立安全性工作组织结构及运行机制。

## 2.2 概念设计阶段需求追溯审查点

航空发动机概念设计阶段主要活动包括:

1)进一步分析利益攸关者需求(客户需求、适航等),编制发动机整机需求规范,以及关键技术/使能技术和技术验证机的验证计划;2)开展发动机总体循环方案设计、典型工况性能计算、发动机整机排放评估、整机噪声评估等;3)开展发动机总体结构草图、方案图设计;4)设计/开发发动机总体、部件的方案,包括关键技术(使能技术)、更新限制因素以及费用/风险的主要因素;5)初步建立功能基线。

本阶段需求追溯性审查点如下:

1)审查来自客户的需求文件,其中各个功能和性能要求都经过定义,且可以验证<sup>[21]</sup>,并与成本(费用或计划预算)、进度(计划进度)、风险和其他系统限制因素一致;2)通过需求追溯矩阵、需求与设计追溯评估系统规范的技术要求,确保系统技术要求与优选的系统方案、可用技术间的一致性,确保系统技术要求满足了客户需求,风险可接受;3)通过需求追溯矩阵,评估需求实施变更影响分析充分完整、变更版本是否受控;建立发动机层级需求与利益攸关者需求间的双向追溯关系,检查需求的追溯性;4)更新需求确认矩阵,管理需求确认状态

等信息;5)更新 RVTM,维护更新需求验证状态等信息。

本阶段与安全性相关审查点:

1)是否编制可靠性与安全性保证大纲,将程序文件和项目要求落实到可靠性和安全性保证大纲中;2)制定可靠性与安全性工作计划,规定每个阶段 RM&S(可靠性、维修性、安全性)主要活动和角色职责;3)是否开展发动机整机功能危害分析(FHA),分析过程是否合理;4)是否开展发动机初步安全性评估(PSSA),评估过程及所用评估方法是否合理。

## 2.3 初步设计阶段需求追溯性审查点

初步设计阶段主要活动包括:

1)进行发动机概念方案设计,基于总体多方案设计,开展循环参数与总体性能方案定义、总体结构方案定义、初步安全性评估、可靠性预计、维修性预计;2)基于总体性能、结构等设计方案,开展部件/子系统概念方案定义,并将子系统/部件概念方案反馈给总体,进行总体概念方案优化,形成唯一的总体概念设计方案;3)基于唯一的总体概念设计方案,分配总体方案至部件/系统,定义部件/系统设计技术要求,更新发动机技术要求(系统研制规范);4)建立发动机整机的分配基线;5)将技术状态项<sup>[22]</sup>(CI)功能规范发展成为产品(制造)文件和验证计划;6)通过首飞前规定的试验对单个 CI 进行验证;7)通过综合使用首飞前规定的试验和早期科研试飞(早期使用评估),验证性能是否符合规范要求;8)对系统开展首飞前规定的试验、进发匹配试验、科研试飞(使用评估),以验证系统功能和限制因素是否符合规范要求;9)根据规定的客户需求和环境限制因素,综合使用首飞前规定的试验、飞行作战试验、进发匹配试验,对系统进行演示验证。

本阶段需求追溯性审查点如下:

1)通过需求追溯矩阵,评估航空发动机的需求向低层级分解和定义过程;2)条目化管理系统/单元体需求,控制本阶段的需求变更,通过需求链接矩阵评估变更影响分析,检查需求变更是否有流程记录等;3)建立系统/单元体需求与发动机需求间的双向追溯关系,检查需求的追溯性;4)评估研制规范、试验方案、接口控制文件和总体协调图等有效性和完善性;5)初步建立分配基线,将要求分配到部件/系统及以下层级,定义设计要求作为部件/系统

及以下层级设计过程的输入,并对详细设计和研制过程进行规划;6)开展系统验证审查,更新 RVTM,维护更新需求验证状态等信息,形成追溯验证证据链;7)开展系统需求确认审查,更新需求确认矩阵,管理需求确认状态等信息。

本阶段与安全性相关审查点如下:

1)是否在初步设计阶段更新可靠性与安全性工作计划;2)是否开展部件/单元体可靠性与安全性分析,建立部件可靠性、安全性模型;3)是否开展部件 FMECA 分析、共模分析(CMA)、特殊风险分析(PRA)、区域安全性分析(ZSA);4)对部件/单元体进行可靠性与安全性评估,判断初步设计是否满足可靠性与安全性需求;5)根据初步设计方案更新发动机整机功能危害分析(FHA)、发动机初步安全分析(PSSA),判断初步设计是否满足可靠性和安全性要求。

#### 2.4 详细设计阶段需求追溯性审查点

在详细设计阶段主要活动包括:

1)在初步设计方案基础上,继续开展发动机稳态性能设计、发动机非稳态性能设计、气动稳定性设计等,形成性能详细设计方案;2)在初步设计方案基础上,进行总体结构详细设计,完成总体结构总图设计、总体结构转子平衡图设计、发动机本体三维装配等总体结构工程设计工作;3)在初步设计基础上,开展转子动力学分析、整机载荷与整机结构分析;4)更新整机实时模型,根据设计要求进行控制系统详细设计方案;5)按照产品验证与确认计划,针对详细设计阶段产品设计方案进行验证与确认;6)按照试验大纲、试验工艺规程、试验操作规程、试验流程卡片、试验记录表单和风险处置预案等文件的要求开展初始的验证。

本阶段需求追溯性相关审查点如下:

1)建立发动机产品基线,对试制/试产产品的完工状态、所依据的构型/技术状态文件等进行的审核;2)对各构型项/技术状态项具有代表性的产品图样和相关工艺规程进行审核,包括审核产品图样和构型项/技术状态项上的变更,保证工艺规程的准确、完整和统一;3)审核构型项/技术状态项所有记录,确认正式生产状态与构型项/技术状态项文件要求一致;4)开展系统验证审查,更新 RVTM,确保所有的需求都被验证,形成完整的验证证据链;5)开展系统需求确认审查,更新需求确认矩阵,管理需求

确认状态等信息。

本阶段与安全性相关审查点如下:

1)评估整机功能危害性分析 FHA 过程及结果是否合理,支撑材料是否完整;2)审查发动机整机安全性评估过程是否合理,支撑材料是否完整;3)发动机整机安全性分析是否包括共模分析(CMA)、特殊分析分析(PRA)、安全区域分析(ZSA)等共因分析,分析过程是否合理,支撑材料是否完整;4)是否进行发动机整机故障树分析,故障树分析能否支撑评估发动机整机安全性目标;5)检查安全性评估是否落实了必须遵循的标准和规范;6)FMECA 分析过程是否合理,支撑材料是否完整,分析数据是否真实可靠。

#### 2.5 验证与取证阶段需求追溯性审查点

验证与取证阶段主要活动包括:

1)完成发动机的飞行台试验,分析试验结果,评估满足产品预期使用环境下使用需求的程度,满足则进入适航试验;2)发动机可靠性增长试验;3)进行适航试验验证,形成适航符合性报告;4)取得 TC、PC 证;5)发布发动机手册等技术资料。

该阶段主要的追溯性审查点如下:

1)基于需求追溯矩阵,检查从适航条款到最后适航验证相关材料数据的正确性、完整性检查;2)审查不同阶段需求基线版本变更是否遵照相应的流程、变更记录是否可追溯。

本阶段与安全性相关审查点如下:

1)检查产品适航安全性相关试验过程是否合理,试验材料是否支撑试验结论;2)检查发动机技术指标是否满足所有的适航安全性要求;3)检查适航试验结果,检查发动机产品满足适航安全性要求。

### 3 结论

本文针对航空发动机系统的安全需求开展追溯性研究。以项目最高层级需求活动出发,提供利益攸关者需求进行需求开发的主要活动,并从需求捕获、需求分析、需求确认、需求分配(分解)和需求验证分别进行追溯性活动分析,分析其追溯活动来增强系统安全评估的效果。提供航空发动机需求分析与定义阶段、概念设计阶段、初步设计阶段、详细设计阶段、验证与取证阶段的需求追溯活动检查项,同时列举出需要关注与安全性相关的审查活动。以期

提高我国对航空发动机相关的安全性需求进行有效的跟踪与管理,提高局方对发动机安全性评估的信任度。

### 参考文献:

- [ 1 ] Society of Automotive Engineer. Guidelines for development of civil aircraft and system; SAE ARP 4754A[S]. Washington D. C. : SAE, 1996.
- [ 2 ] 梁军义,李智皓,刘伟. 复杂产品离散制造过程信息追溯模型研究[J]. 信息技术与网络安全,2021,40(9):66-70.
- [ 3 ] 胡叶舟,方莹,谢成淋,等. 基于区块链的航空装配制造溯源方案[J]. 网信军民融合,2021(8):38-42.
- [ 4 ] 孙建军,吴薇薇,王晓婷. 航空复杂产品物流管理与质量追溯[J]. 信息技术与标准化,2017(12):72-75.
- [ 5 ] 李青,冯丹,梅正朋. 飞机使用寿命周期构型管理和追溯[J]. 计算机集成制造系统,2016,22(2):476-481.
- [ 6 ] 马赞,阎芳,赵长啸,等. 民用飞机适航安全性数据追溯性分析与建模[J]. 电讯技术,2017,57(9):1064-1070.
- [ 7 ] SUDARSAN R, FENVES S J, SRIRAM R D, et al. A product information modeling framework for product life-cycle management[J]. Computer-Aided Design, 2005, 37(13): 1399-1411.
- [ 8 ] 鲁玉峰,唐婷婷,王榕媛,等. 基于 BOM 航空发动机产品质量追溯管理信息化方法的研究[J]. 中国制造业信息化,2011,40(32):31-35.
- [ 9 ] 郭放,吴晶峰,扬子江,等. 基于系统工程的航空发动机安全性评估追溯模型框架[J]. 内燃机与配件,2020(5):171-173.
- [ 10 ] 罗婷婷. 基于系统工程的商用航空发动机研制需求管理方法研究[J]. 航空制造技术,2015(3):109-111; 114.
- [ 11 ] 李联辉,尹冠飞,莫蓉. 面向航空发动机装配过程的信息追溯与过程监控[J]. 计算机集成制造系统,2018,24(12):2986-3000.
- [ 12 ] 卢川川,李伦未,孙文斌,等. 航空发动机研制需求管理探析[J]. 燃气涡轮试验与研究,2019,32(4):58-62.
- [ 13 ] 季雁,李志敏. 需求管理在民用航空发动机研制中的应用[J]. 航空动力,2020(2):36-39.
- [ 14 ] 史妍妍,王桂华,刘庆东,等. 航空发动机需求管理方法研究[J]. 航空发动机,2017,43(1):91-94.
- [ 15 ] 中国民用航空局. 航空发动机适航规定:CCAR-33-R2[S]. 北京:政策法规司,2012.
- [ 16 ] 中国民用航空局. 涡轮发动机飞机燃油排泄和排气排出物规定:CCAR-34[S]. 北京:中国民用航空总局,2002.
- [ 17 ] 中国民用航空局. 运输类飞机适航标准:CCAR-25-R4[S]. 北京:政策法规司,2016.
- [ 18 ] 中国民用航空局. 航空器型号和适航合格审定噪声规定:CCAR-36[S]. 北京:航空器适航审定司,2002.
- [ 19 ] HOFFMANN H P. Systems engineering best practical with the rational solution for system and software engineering[M]. USA: IBM, 2011.
- [ 20 ] 郭博智,王敏芹,阮宏泽. 民用飞机安全性设计与验证技术[M]. 北京:航空工业出版社,2015.
- [ 21 ] 刘海年,栾旭,李昌红,等. 航空发动机成附件供应商技术审查体系建设方法研究[J]. 航空科学技术,2018,29(3):30-34.
- [ 22 ] 张新国. 国防装备系统工程中的成熟度理论与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2013.

### 作者简介

朱日兴 男,硕士,讲师。主要研究方向:适航技术与管理。  
E-mail: zhzhui123856@outlook.com

## Analysis of traceability management for aero-engine requirement

ZHU Rixing<sup>1,2</sup>\*

(1. Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330044, China;

2. The Research Center of Small General Aviation Aircraft Maintenance Engineering Technology in Nanchang, Nanchang 330044, China)

**Abstract:** As the most basic method for system or project requirement confirmation, traceability is usually to trace the requirements to the superior requirements, or to the design requirements. It is a major challenge for aero-engine manufacturers to effectively trace and manage the safety requirements of aero-engine, and improve the authority's trust in engine safety assessment. This paper studies the management process of engine safety requirements, and analyzes the traceability activities involved in requirements development including requirement capture, requirement analysis, requirement confirmation, requirement allocation and requirement verification. The traceability characteristics and manifestations of different engine development stages were studied including requirement analysis and definition stage, conceptual design stage, preliminary design stage, detailed design stage, verification and certification stage, and requirements and attention for traceability were proposed in the certification activities. We hope to provide support for engine of safety working management and implementation of safety requirements in China.

**Keywords:** aero-engine; requirement; traceability management; safety assessment

---

\* Corresponding author. E-mail: zhzhui123856@outlook.com