

面向装备研发过程的标准需求生成技术研究

王长溪, 唐伟, 刘启国, 张晓明

(中国航空综合技术研究所, 北京 100028)

摘 要:标准需求生成方法是标准形成的核心技术, 由于缺少系统性方法, 装备标准化领域常出现标准技术要素缺失、与研发活动关联性弱等问题, 标准在完整性、可用性、可追溯性方面存在明显不足, 导致装备研发相关标准不能充分发挥应有的降本增效作用, 不能有效推动装备技术发展进步。围绕装备自主可控标准正向研制需求, 定义了以活动为核心的标准需求捕获场景模型, 阐述了标准需求识别机理, 提出了标准配置、标准要素定义、标准需求项目集成的方法, 建立了活动事项、工具、数据与标准需求项目的映射矩阵, 提出了面向装备研发过程的标准需求生成方法。通过在航空发动机压气机气动设计领域的应用, 验证了该方法能够有效建立标准与装备研发过程各要素的追溯关系, 确保标准需求完整、有效和唯一, 为装备自主可控标准体系建设提供技术支持。

关 键 词:标准需求; 标准需求捕获场景; 装备研发活动; 需求识别

中图分类号:E917; V23

文献标志码:A

文章编号:1000-2758(2023)01-0160-10

标准需求是指系统、产品、活动、流程以及使能服务等标准化对象需以标准的形式来规范、协调、统一和约束的说明。标准需求主要以文本的形式呈现, 分为标准需求条目和标准需求项目。条目级标准需求通常体现标准化对象的局部性、细节性需求, 一般通过标准的某些技术条款来予以满足。将条目级标准需求进行有机组合, 能够得到一项标准应包含的所有标准需求条目。项目级标准需求则体现标准化对象的整体性、宏观性需求, 一般通过一项标准来予以满足。

标准需求条目能够指导装备研发活动实操, 对装备研发标准的正向研制有着重要意义。传统装备研发标准需求的生成过程主要依赖于研制人员的专业能力及经验总结, 结合研发过程暴露的标准缺失情况, 自下而上地收集、分析并获取标准需求^[1-2]。现有标准需求生成方法一定程度上能够反映产品研发的标准需求, 但系统性不强。

随着架构框架理论方法的发展与成熟, 衍生出了多种体系架构设计技术、评估技术等^[3-7]。体系架构方法提供了一种自上而下、需求牵引的装备标准生成机制, 通过对军事能力、作战活动、武器装备

等多维度的模型构建, 分析现有标准适用性和缺项标准需求, 使得装备研制过程中不同的利益相关方能够通过一套结构化的建模平台进行无障碍和深层次的数据交流, 提升了装备标准化的数字化和信息化水平以及装备研制效率^[8]。

架构框架理论应用较广泛的是美国国防部架构框架 DoDAF, DoDAF2.0 定义了全景视角 (AV)、能力视角 (CV)、作战视角 (OV)、标准视角 (StdV)、系统视角 (SV) 等 8 个视角 52 个模型, 能够建立作战需求、作战场景、能力、系统等多个方面与标准的联系, 获取相关标准需求。其中, StdV 包含标准配置文件 (StdV-1) 和标准预测 (StdV-2) 2 个模型。StdV-1 用于规定系统、服务、标准和规则, 约束在设计中产生的选择以及结构性描述中的应用; StdV-2 用于预测标准及未来可能的变化, 给出新制定和待修订标准。

为了进一步统一各国体系架构, 避免概念在不同框架之间很难跨越, 使用不同框架的架构师之间的沟通不畅^[9]的问题, 美国国防部委托国际协会 OMG 开发了统一架构框架 (UAF), 弱化各体系结构框架的视角及概念异构, 增强北约各国体系结构框

收稿日期: 2022-08-18

基金项目: 国家科技重大专项 (2017-VIII-0001-0112) 资助

作者简介: 王长溪 (1990—), 中国航空综合技术研究所工程师, 主要从事航空发动机标准化研究。e-mail: wangzx010@avic.com

架兼容性^[10],目前最新版本为 2022 年 7 月发布的 UAF1.2^[11]。

近年来,架构框架理论方法在装备标准化领域进行了大量应用。罗海东等^[12]基于标准视图建模原理,结合企业产品研发体系建设、航空产品研制等相关标准需求,对航空发动机标准体系构建方法、应用场景等进行了研究探讨,实现了对产品全生命周期研制和研发体系建设的标准配置与结构化应用,以及面向新一代航空产品的标准预测与规划。何瑞恒等^[13]建立了基于 DoDAF 的标准视图建模方法,结合通用型无人直升机的研制,研究了完整的标准视图建模方法,分析了标准视图建模工具的功能架构。郑硕昉等^[14]发展了一种基于 UAF 建模的需求牵引的装备标准集生成技术,在军民航联运体系构建过程进行了试点应用,有效建立了作战使用活动、需求、系统和标准等架构元素之间的模型化关联。

现有基于架构框架理论方法的标准需求生成方法,能很好建立用户需求与标准之间的追溯关系,但仍存在一定局限性,主要表现在:

1) 虽然能有效建立产品的功能要求、性能指标与标准之间的联系,但识别装备研发过程的标准需求仍有一定困难;

2) 标准需求与研发流程没有明显的关联性,易导致标准需求与产品研发过程脱节、与技术体系等关联性弱、标准可操作性不强等问题;

3) 仅能获取标准需求项目的名称,不足以支撑详细的条目级标准需求识别,很难保证标准内容的完整性及协调性,易造成重要标准要素缺失。

为解决上述问题,本文提出一种面向产品研发过程的标准需求生成方法。

1 面向产品研发过程的标准需求生成技术原理

面向产品研发过程的标准需求生成原理如图 1 所示。

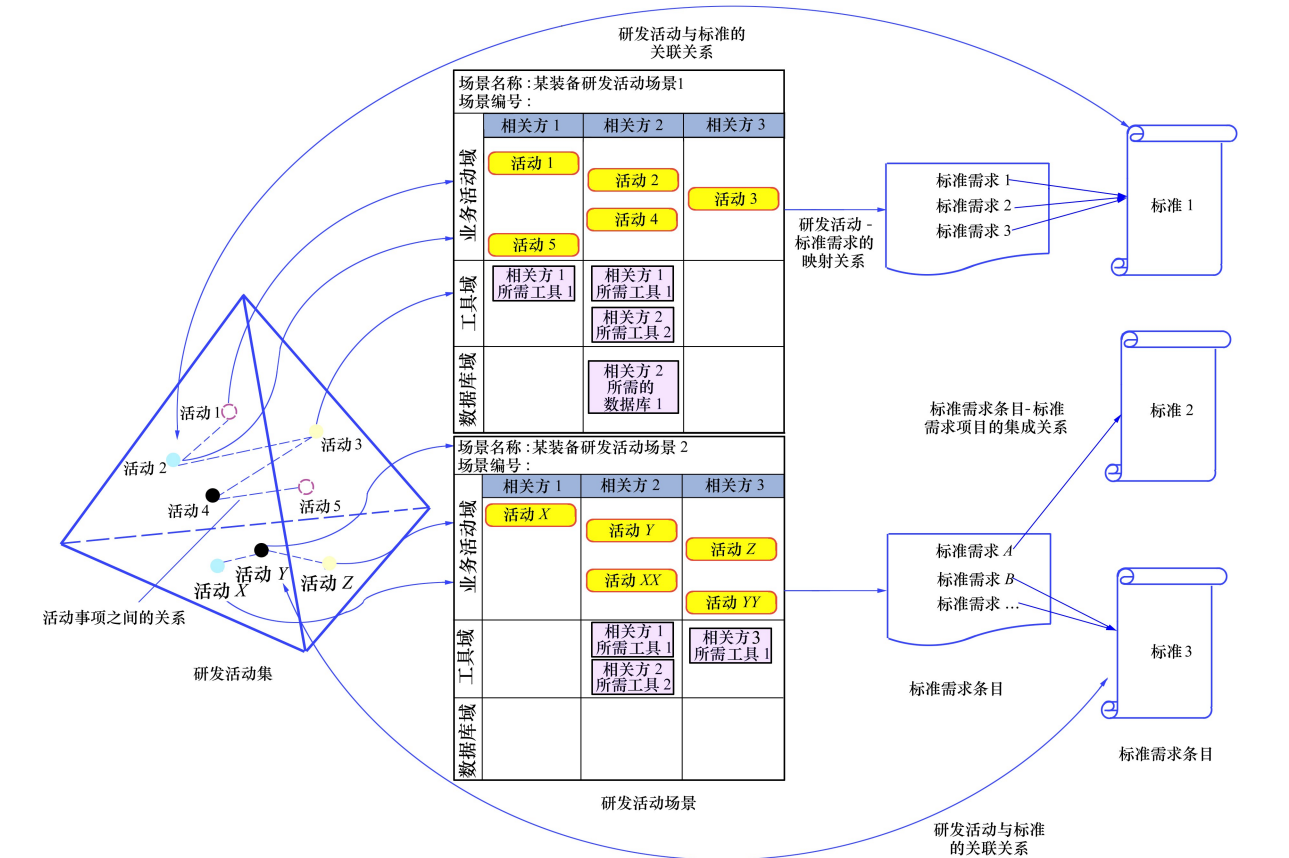


图 1 研发活动-研发活动场景-标准需求条目-标准需求项目的关系

装备研发的活动事项能够形成装备研发活动集,装备研发活动集本身是一个庞大且包含多层次的复杂体系。在研发活动集中,将一系列相关联的研发活动事项提取出来,可以完成装备某方面的研发工作。当这些研发活动事项执行时,需要标准来规范、约束、指导时,就可能产生相应的标准需求,因此,标准需求与研发活动事项之间联系十分紧密。标准不是越多越好,应按一定的规则对标准需求进行综合集成,得到所需标准并纳入相关标准体系。

根据上述原理,能够顺畅地建立起研发活动-标准需求条目-标准需求项目间的关联关系,实现标准需求项目与研发活动之间的关联协调。

标准需求捕获场景建模需要使用到装备研发活动场景。在装备研发活动场景中,几方不同职责的人员利用一定的资源,按照既定的步骤(或流程)完成装备某一方面的研发工作。将人员定义为活动相关方,资源定义为工具与数据库,将步骤(流程)定义为研发活动事项。图 2 展示了一种装备研发活动场景,每一列代表了某个相关方负责的研发活动、所需的资源(包括工具、数据库)。基于上述研发活动场景的装备研发标准需求捕获场景建模应包含上述基本要素,即活动相关方、活动事项、工具、数据库。研发活动可能存在迭代,同样的活动可能重复出现,具有相同的标准需求,因此,在标准需求捕获场景建模中不需关注研发活动事项的前后关系及迭代关系。

场景名称:某装备研发活动场景 场景编号:			
	相关方 1	相关方 2	相关方 3
业务活动域	活动 1	活动 2	活动 3
		活动 4	
	活动 5		
工具域	相关方 1 所需工具 1	相关方 1 所需工具 1 相关方 2 所需工具 2	
数据库域		相关方 2 所需的数据库 1	

图 2 装备研发活动场景

标准需求识别是以研发活动事项为对象,标准需求识别的原理可通过图 3 所示模型来表达,识别

要素包括研发活动实施的活动输入、活动输出、活动实现、活动边界。标准需求来源于该 4 类要素,通过合理设计需求捕获相关问题,并加以分析与判断即可准确获取相关标准需求。

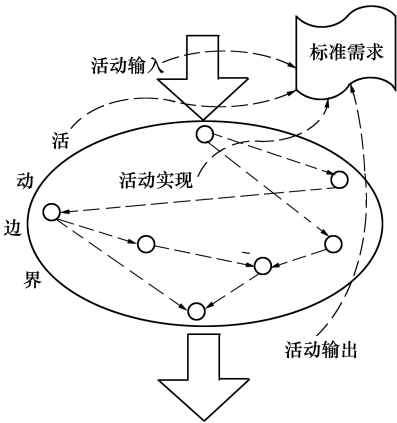


图 3 标准需求的来源

基于上述基本原理形成的标准需求生成方法具有以下优势与特点:

- 1) 研发活动很好地与研发过程相融合,能够准确识别研发实际所需的标准需求。将活动场景涉及到的活动相关方、活动事项、工具、数据库等要素进行综合考虑,构建标准需求捕获场景,识别相关标准需求。类似于系统工程方法里 IPO 图(input process output),标准需求可来自于研发活动(流程)的输入、输出、使能项、约束项,通过多维度、系统性的标准需求分析方法能够确保标准需求的规范、协调、完整;
- 2) 有力支撑庞大、复杂的体系化标准的建设。通过对标准需求捕获场景相关标准需求条目的综合协调与集成,确定标准需求项目及其所包含的标准需求条目,根据现行标准的技术内容,将其与标准需求捕获场景、标准需求条目进行匹配,掌握标准需求的满足程度,建立起标准(包含现有标准及新制定标准)与标准需求之间的关联关系,形成系统、可追溯的标准需求集,推动标准体系的建立及完善。

2 面向装备研发过程的标准需求生成建模技术

2.1 建模流程

标准需求捕获建模的基本流程如图 4 所示,主

要包括装备研发活动分解、标准需求捕获场景建模、标准需求识别、现行标准配置与标准要素定义、标准需求项目集成。

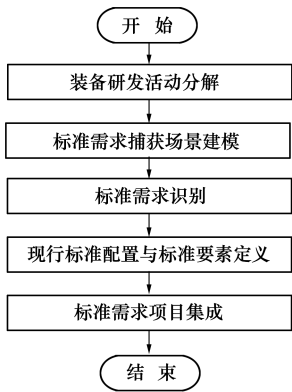


图 4 面向装备研发过程的标准需求生成建模流程

综合考虑研发实际过程、技术体系,进行装备研发活动分解,分析业务活动相关方、所需使用的工具和数据库,为标准需求条目的捕获提供载体;基于标准化原理,对相关方域、业务活动域、工具域、数据库域中各要素需要约束和规范的标准事项进行深入分析,识别出标准需求条目,建立起标准需求捕获场景;结合产品研制实践,对场景各要素具体内容进行分析,将标准需求条目分解至同层级的最小需求单元,提取相应的标准要素,实现对标准需求条目的定义;将标准要素、标准需求条目、标准需求捕获场景各要素进行追溯性确认,确保标准需求捕获场景、标准需求、标准要素的完整性和准确性,打通标准需求捕获和标准要素提取的技术路径,为正式标准形成奠定技术基础。

2.2 装备研发活动分解

通过对装备研发的技术体系、产品结构分解(PBS)、工作结构分解(WBS)的综合分析,从一个维度或多个维度对产品研发活动或流程进行梳理分析,获取研发活动,并与研发实际过程协调,例如,航空发动机全寿命周期活动可按需求工程、设计工程、制造工程、材料工程、试验工程、服务保障工程、专业工程、项目管理等几大领域进行研发活动梳理。为了获得充分的标准需求数据,活动(或流程)的梳理应层层分解,直到不可再分为止,形成研发活动集 $A = \{a\}$,其中活动事项用 a 表示。

2.3 标准需求捕获场景建模

标准需求捕获场景构建的复杂程度应充分考虑

工作实际和资源条件,以研发活动为核心,将其涉及到的活动相关方 s 、工具 t 、数据库 d 进行集成分析,构建标准需求捕获场景,以矩阵 C 表示。

$$C = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{in} \\ t_{11} & \cdots & t_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ t_{j1} & \cdots & t_{jn} \\ d_{11} & \cdots & d_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ d_{k1} & \cdots & d_{kn} \end{bmatrix}_{(i+j+k) \times n} \tag{1}$$

式中: a_{in} 为第 n 个活动相关方的第 i 项活动; t_{jn} 为第 n 个活动相关方开展该活动所需的第 j 项工具; d_{kn} 为第 n 个活动相关方开展该活动所需的第 k 项数据库。

在标准需求捕获场景矩阵 C 中,每一列元素表示某个活动相关方负责的研发活动、需使用的工具、需使用的数据库。

活动事项按发生的先后顺序排列,当同一行不同活动相关方都出现活动事项时,表示同一项活动不同相关方的共同参与情况,当活动相关方没有活动事项时,记为 0。

每一列工具、数据库采用列项形式表示,不区分先后顺序,且与其他活动相关方的工具、数据库不存在关联,工具、数据库元素的角标 j, k 分别为所有活动相关方中使用到的工具、数据的最大值,当某一活动相关方使用的工具、数据库数量小于 j, k 的最大值时,以 0 补位。

2.4 标准需求识别

根据研发和实际工作需求,分析各项研发活动事项、工具、数据库是否需要标准规范,分析步骤如下:

- 1) 分析明确研发活动实施的输入;
- 2) 分析明确研发活动实施的约束与控制条件;
- 3) 分析明确研发活动实施、工具使用和数据库使用的方法或流程;
- 4) 分析明确研发活动实施的输出。

评价输入、约束与控制条件、方法或流程、输出是否应纳入标准作为标准需求,评价准则如下:

Q1: 是否需要标准保证装备满足装备作战或使用的指标或要求;

Q2: 是否需要标准固化与传承装备研制经验;
Q3: 是否需要标准控制装备研制质量;
Q4: 是否需要标准提高研制效率或降低研制成本。

当至少有一条准则为“是”时,该项内容可确定为一条标准需求条目;当所有评价准则都不满足时,该元素的标准需求记为 0。

用 $a_{r,i n}, t_{r,j n}, d_{r,k n}$ 表示各项研发活动、工具、数据库各元素的标准需求,根据标准需求捕获场景矩阵 C ,建立起标准需求矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} a_{r,11} & \cdots & a_{r,1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{r,i1} & \cdots & a_{r,in} \\ t_{r,11} & \cdots & t_{r,1n} \\ \vdots & & \vdots \\ t_{r,j1} & \cdots & t_{r,jn} \\ d_{r,11} & \cdots & d_{r,1n} \\ \vdots & & \vdots \\ d_{r,k1} & \cdots & d_{r,kn} \end{bmatrix}_{(i+j+k) \times n} \quad (2)$$

C 与 R 之间的关联性用研发活动与标准需求的关联矩阵 L 表示。

$$L = \begin{bmatrix} l_{a,11} & \cdots & l_{a,1n} \\ \vdots & & \vdots \\ l_{a,i1} & \cdots & l_{a,in} \\ l_{t,11} & \cdots & l_{t,1n} \\ \vdots & & \vdots \\ l_{t,j1} & \cdots & l_{t,jn} \\ l_{d,11} & \cdots & l_{d,1n} \\ \vdots & & \vdots \\ l_{d,k1} & \cdots & l_{d,kn} \end{bmatrix}_{(i+j+k) \times n} \quad (3)$$

式中

$$l_{a,i n} = \begin{cases} 1, & a_{i n} \& a_{r,i n} \neq 0 \\ 0, & a_{i n} \& a_{r,i n} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$l_{t,i n} = \begin{cases} 1, & t_{j n} \& t_{r,j n} \neq 0 \\ 0, & t_{j n} \& t_{r,j n} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$l_{d,i n} = \begin{cases} 1, & d_{k n} \& d_{r,k n} \neq 0 \\ 0, & d_{k n} \& d_{r,k n} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

2.5 现行标准配置与标准要素定义

对标准需求条目进行归一化与编号,将现行标准与标准需求进行关联匹配,判断现行标准能否涵盖各条标准需求,对标准需求条目进一步展开形成

标准相关技术要素。编写现行标准配置与标准要素定义表,包含标准需求、现行标准配置、 C 矩阵映射元素、标准要素等信息。

2.6 标准需求项目集成

每个研发活动场景 C 可集成为多份标准,根据标准使用情况,提取适合在同一份标准中集成的标准需求,拆解 R 矩阵为 p 个同阶矩阵, p 表示 p 份标准, R_p 为第 p 个矩阵的标准需求矩阵,为保证标准需求条目不产生交叉重复,通常需要满足 $R = R_1 + R_2 + \cdots + R_p$,并得到相应的 L_p 矩阵,同时满足 $L = L_1 + L_2 + \cdots + L_p$ 。

L_p 为第 p 份标准的标准需求与标准需求捕获场景 C 的映射矩阵,满足 C 与 L_p 的哈达玛积为第 p 项标准的关联研发活动,表示为 $C_p = C \odot L_p$ 。

3 应用案例及说明

本文以航空发动机气动设计为案例进行应用。压气机气动设计按技术体系进行分解,构建研发活动集合 $A = \{$ “初始方案设计”,“S2 气动计算”,“叶片解析造型”,“叶槽道 S1 流场分析”,“叶片强度初步分析”,“二维特性计算及优化”,“流线曲率或通流 S2 计算”,“总参数及分布参数检查”,“功分布及损失调整”,“叶片造型”,“强度估算”,“设计点三维流场分析”,“三维特性计算”,“强度验算和颤振设计”,“压气机性能试验验证” $\}$ 。

压气机气动设计的活动相关方依次为发动机总体设计部门、压气机气动设计部门、强度分析部门、压气机性能试验部门。发动机总体设计部门负责提出发动机总体性能设计要求,包含了压气机气动设计所需设计输入。压气机气动设计部门负责完成气动设计工作,强度分析部门参与强度分析相关工作,试验部门负责进行压气机性能设计的验证。压气机气动设计过程中需要使用的工具包括 CFD 仿真分析软件、性能仿真分析软件、强度分析软件、强度试验器,强度分析时需要使用到材料性能数据库。

根据压气机气动设计活动集 A ,构建风扇气动设计标准需求捕获场景矩阵 C ,得到(7)式。矩阵 C 元素的值见表 1。

$$C = \begin{bmatrix} a_{1\ 1} & \cdots & a_{1\ 4} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{16\ 1} & \cdots & a_{16\ 4} \\ t_{1\ 1} & \cdots & t_{1\ 4} \\ t_{2\ 1} & \cdots & t_{2\ 2} \\ d_{1\ 1} & \cdots & d_{1\ 4} \end{bmatrix}_{19 \times 4} \quad (7)$$

表 1 矩阵 C 元素的值

矩阵	矩阵元素的值
$a_{1\ 1}$	= 提出压气机气动性能要求
$a_{2\ 2}$	= 初始方案设计
$a_{3\ 2}$	= S2 气动计算
$a_{4\ 2}$	= 叶片解析造型
$a_{5\ 2}$	= 叶栅槽道 S1 流场分析
$a_{6\ 3}$	= 叶片强度初步分析
$a_{7\ 2}$	= 二维特性计算及优化
$a_{8\ 2}$	= 流线曲率或通流 S2 计算
$a_{9\ 2}$	= 总参数及分布参数检查
$a_{10\ 2}$	= 功分布及损失调整
$a_{11\ 2}$	= 叶片造型
$a_{12\ 3}$	= 强度估算
$a_{13\ 2}$	= 设计点三维流场计算
$a_{14\ 2}$	= 三维特性计算
$a_{15\ 3}$	= 强度验算和振动颤振分析
$a_{16\ 4}$	= 压气机性能试验验证
$t_{1\ 2}$	= CFD 仿真分析软件
$t_{1\ 3}$	= 强度仿真分析软件
$t_{1\ 4}$	= 强度试验器
$t_{2\ 2}$	= 性能仿真分析软件
$d_{1\ 3}$	= 材料性能数据
其他元素	的值为 0

识别压气机气动设计活动包含的标准需求。分析判断压气机气动设计活动、工具、数据库是否需要包含标准需求,形成需求矩阵 R ,见(8)式。矩阵 R 元素的值见表 2。

$$R = \begin{bmatrix} a_{r,1\ 1} & \cdots & a_{r,1\ 4} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{r,16\ 1} & \cdots & a_{r,16\ 4} \\ t_{r,1\ 1} & \cdots & t_{r,1\ 4} \\ t_{r,2\ 1} & \cdots & t_{r,2\ 4} \\ d_{r,1\ 1} & \cdots & d_{r,1\ 4} \end{bmatrix}_{19 \times 4} \quad (8)$$

表 2 矩阵 R 元素的值

矩阵	矩阵元素的值
$a_{r,1\ 1}$	= 压气机气动设计输入
$a_{r,2\ 2}$	= 一维设计要求与方法
$a_{r,3\ 2} = a_{r,8\ 2}$	= S2 流面计算方法与程序
$a_{r,4\ 2} = a_{r,11\ 2}$	= 叶片型面参数选取方法
$a_{r,5\ 2} = a_{r,10\ 2}$	= S1 流面计算方法与程序
$a_{r,6\ 3} = a_{r,12\ 3} = a_{r,15\ 3}$	= 强度设计准则与强度设计方法
$a_{r,7\ 2}$	= 二维特性计算方法
$a_{r,14\ 2}$	= 三维特性计算方法
$a_{r,16\ 4}$	= 压气机性能试验要求
$a_{r,13\ 2} = t_{r,1\ 2}$	= CFD 仿真计算方法
$t_{r,1\ 3}$	= 强度有限元计算方法
其他元素	的值为 0

根据 L 的定义式,建立 R 与 C 的关系 L 矩阵,得到(9)式。

$$L = \begin{bmatrix} l_{a,1\ 1} & \cdots & l_{a,1\ 4} \\ \vdots & & \vdots \\ l_{a,16\ 1} & \cdots & l_{a,16\ 4} \\ l_{t,1\ 1} & \cdots & l_{t,1\ 4} \\ l_{t,2\ 1} & \cdots & l_{t,2\ 4} \\ l_{d,1\ 1} & \cdots & l_{d,1\ 4} \end{bmatrix}_{19 \times 4} \quad (9)$$

将相同的标准需求进行合并,实现标准需求的归一化。梳理航空发动机压气机气动性能设计现行标准,并完成标准需求与现行标准的匹配。通过对标准需求捕获场景中的标准需求细化,确定与标准需求关联的主要标准要素,完成标准配置与标准要素定义,见表 3。

通过对标准使用需求的分析判断,对表 3 中的标准需求进行集成,将标准需求条目集成为《航空燃气涡轮发动机压气机气动设计要求》《航空燃气涡轮发动机压气机结构强度设计要求》《航空燃气涡轮发动机 CFD 数值分析方法》《航空燃气涡轮发动机强度有限元分析方法》4 项标准,见表 4,同时能够得到 4 份标准的标准需求矩阵 R_1, R_2, R_3, R_4 ,其矩阵表达式同(8)式,矩阵内的元素值见表 5。根据公式(3)可建立 4 份标准与压气机气动设计标准需求捕获场景的映射矩阵 L_1, L_2, L_3, L_4 ,其矩阵表达式同(9)式,矩阵元素值见表 6。通过计算 $C \odot L_p$ 能够得到 L_1, L_2, L_3, L_4 的关联研发活动,最终实现了研

发活动与标准之间的关联映射。

表 3 标准配置与标准要素定义

标准需求	现行标准配置	C 矩阵映射元素		标准要素
压气机气动设计输入	HB 20408-2018	$a_{1\ 1}$		设计输入。
一维设计要求与方法	HB 20408-2018	$a_{2\ 2}$		压比、效率、静子总压恢复系数、叶片的进出口气流角、叶片的进出口轴向速度、加功因子、扩散因子、转速和非设计转速特性等。
S2 流面计算方法与程序	HB 20408-2018	$a_{3\ 2}, a_{8\ 2}$		级平均级压比分配、转子叶片进口预旋设计、流道设计、稠度设计。
叶片型面参数选取方法		$a_{4\ 2}, a_{11\ 2}$		叶型设计、攻角设计、落后角设计、叶片积叠。
S1 流面计算方法与程序		$a_{5\ 2}, a_{10\ 2}$		气流分离、叶型局部载荷、马赫数分布、攻角特性。
强度设计准则与强度设计方法		$a_{6\ 3}, a_{12\ 3}, a_{15\ 3}$		强度设计准则、静强度、振动、低循环疲劳、超转与破裂转速、转子动力学特性、叶片伸长。
二维特性计算方法		$a_{7\ 2}$		叶片进出口压力和温度沿径向分布、速度和马赫数沿径向分布、气流角和气流转折角沿径向分布、各排叶片扩散因子沿径向分布、各排叶片出口与进口速度比沿径向分布、各排叶片稠度沿径向分布。
三维特性计算方法	HB 20408-2018	$a_{14\ 2}$		叶片排、级及总性能参数、气动参数沿叶展方向的分布、静压沿叶片表面的分布、各径向截面的马赫数、静压。
压气机性能试验要求	HB 20408-2018	$a_{16\ 4}$		平面叶栅试验、压气机总性能试验、级间参数测量试验、导流叶片/静子优化试验、总压畸变试验、叶尖间隙测量试验、叶片振动试验、叶片静强度试验等试验项目的试验条件、试验要求。
CFD 仿真计算方法		$a_{13\ 2}, t_{1\ 2}$		仿真一般流程、模型创建、模型检查、仿真计算、后处理、结果分析与验证。
强度有限元计算方法		$t_{1\ 3}$		仿真一般流程、模型创建、模型检查、仿真计算、后处理、结果分析与验证。

表 4 压气机气动设计标准需求项目集成

适用活动场景	标准号	标准名称	C 矩阵映射元素	集成的标准需求条目
压气机气动设计	新编	航空燃气涡轮发动机压气机气动设计要求	$a_{1\ 1}$	压气机气动设计输入
			$a_{2\ 2}$	一维设计要求与方法
			$a_{3\ 2}, a_{8\ 2}$	S2 流面计算方法与程序
			$a_{4\ 2}, a_{11\ 2}$	叶片型面参数选取方法
			$a_{5\ 2}, a_{10\ 2}$	S1 流面计算方法与程序
			$a_{7\ 2}$	二维特性计算方法
			$a_{14\ 2}$	三维特性计算方法
			$a_{16\ 4}$	压气机性能试验要求
压气机气动设计	新增	燃气涡轮发动机压气机结构强度设计要求	$a_{6\ 3}, a_{12\ 3}, a_{15\ 3}$	强度设计准则与压气机强度设计方法
压气机气动设计	新编	航空燃气涡轮发动机 CFD 数值分析方法	$a_{13\ 2}, t_{1\ 2}$	CFD 仿真计算方法
压气机气动设计	新增	航空燃气涡轮发动机强度有限元分析方法	$t_{1\ 3}$	强度有限元计算方法

表 5 矩阵 R_1, R_2, R_3, R_4 元素的值

矩阵	矩阵元素的值
R_1	$a_{r,1\ 1}$ = 压气机气动设计输入
	$a_{r,2\ 2}$ = 一维设计要求与方法
	$a_{r,3\ 2}$ = $a_{r,8\ 2}$ = S2 流面计算方法与程序
	$a_{r,4\ 2}$ = $a_{r,11\ 2}$ = 叶片型面参数选取方法
	$a_{r,5\ 2}$ = $a_{r,10\ 2}$ = S1 流面计算方法与程序
	$a_{r,7\ 2}$ = 二维特性计算方法
	$a_{r,14\ 2}$ = 三维特性计算方法
	$a_{r,16\ 4}$ = 压气机性能试验要求
R_2	其他元素的值为 0
	$a_{r,6\ 3}$ = $a_{r,12\ 3}$ = $a_{r,15\ 3}$ = 强度设计准则与强度设计方法
	其他元素的值为 0
R_3	$a_{r,13\ 2}$ = $t_{r,1\ 2}$ = CFD 仿真计算方法 其他元素的值为 0
R_4	$t_{r,1\ 3}$ = 强度有限元计算方法 其他元素的值为 0

表 6 矩阵 L, L_1, L_2, L_3, L_4 元素的值

矩阵	矩阵元素的值
L	$l_{a,1\ 1}$ = $l_{a,2\ 2}$ = $l_{a,3\ 2}$ = $l_{a,8\ 2}$ = $l_{a,4\ 2}$ = $l_{a,11\ 2}$ = $l_{a,5\ 2}$ = $l_{a,10\ 2}$ = $l_{a,6\ 3}$ = $l_{a,12\ 3}$ = $l_{a,15\ 3}$ = $l_{a,7\ 2}$ = $l_{a,14\ 2}$ = $l_{a,16\ 4}$ = $l_{a,13\ 2}$ = $l_{t,1\ 2}$ = $l_{t,1\ 3}$ = 1
	其他元素的值为 0
L_1	$l_{a,1\ 1}$ = $l_{a,2\ 2}$ = $l_{a,3\ 2}$ = $l_{a,8\ 2}$ = $l_{a,4\ 2}$ = $l_{a,11\ 2}$ = $l_{a,5\ 2}$ = $l_{a,10\ 2}$ = $l_{a,7\ 2}$ = $l_{a,14\ 2}$ = $l_{a,16\ 4}$ = 1
	其他元素的值为 0
L_2	$l_{a,6\ 3}$ = $l_{a,12\ 3}$ = $l_{a,15\ 3}$ = 1
	其他元素的值为 0
L_3	$l_{a,13\ 2}$ = $l_{t,1\ 2}$ = 1
	其他元素的值为 0
L_4	$l_{t,1\ 3}$ = 1 其他元素的值为 0

4 结 论

本文对标准需求生成技术展开了深入研究,系统地提出了一种全新的面向装备研发过程的标准需求生成方法模型,经过工程应用,生成了航空发动机压气机气动设计相关 4 项标准需求项目,准确识别了 11 条标准需求条目,提供了多达 60 条具体标准要素,成功指导了我国具有自主知识产权的航空发动机标准的建设,有力保障了我国航空发动机装备研制。应用结果表明:

参考文献:

[1] 罗琴,李丹,潘广泽,等.中国柔性直流输电系统可靠性标准需求研究[J].南方电网技术,2022,16(2):121-129
LUO Qin, LI Dan, PAN Guangze, et al. Requirements analysis on reliability standards for flexible DC transmission system in China[J]. Southern Power System Technology, 2022,16(2): 121-129 (in Chinese)

[2] 陈朝,聂婷婷,韩笑宓,等.交通强国背景下我国无障碍出行标准的发展现状与需求[J].交通标准化,2021,7(3):28-33
CHEN Zhao, NIE Tingting, HAN Xiaomi, et al. Development status and requirement of Chinese accessible transport standards under the background of building China into a country with strong transportation network[J]. Transport Research, 2021, 7(3): 28-33 (in Chinese)

[3] EDWARD C, BRUCE C, DANIEL S. 系统架构:复杂系统的产品设计与开发[M].爱飞翔,译.北京:机械工业出版社

- 1) 生成的标准需求与装备研发活动紧密贴合,标准需求真实有效、准确唯一、系统完整。
- 2) 建立了标准需求与装备研发实际活动的映射关系,能够支持标准需求的追溯与验证,提高了装备标准化综合水平。
- 3) 捕获研发活动标准需求的同时,获取了支持研发的工具和数据的标准需求,能够支撑研发活动配套标准制定。
- 4) 降低了标准需求交叉重复的可能,提高了标准的可用性。

社, 2019

EDWARD C, BRUCE C, DANIEL S. System architecture: strategy and product development for complex systems[M]. AI Feixiang, Trans. Beijing: China Machine Press, 2019 (in Chinese)

- [4] MATTHEW R, KRISTIN G. A formal method for evaluation of a modeled system architecture[J]. Procedia Computer Science, 2013, 20: 210-215
- [5] 李英华, 申之明, 李伟. 武器装备体系研究的方法论[J]. 军事运筹与系统工程, 2004(1): 17-20
LI Yinghua, SHEN Zhiming, LI Wei. Methodology of weapon and equipmen system research[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2004(1): 17-20 (in Chinese)
- [6] 舒振, 刘俊先, 罗爱民, 等. 军事信息系统体系结构设计方法及其应用分析[J]. 科技导报, 2018, 36(20): 48-56
SHU Zhen, LIU Junxian, Luo Aimin, et al. Military information system architecture design method and application analysis[J]. Science & Technology Review, 2018, 36(20): 48-56 (in Chinese)
- [7] PAULETTE A, CIHAN D. Modeling resilience in system of systems architecture[J]. Procedia Computer Science, 2016, 95: 111-118
- [8] 郑朔昉, 何瑞恒. 标准视图在装备研制中的应用方法研究[J]. 标准科学, 2017(3): 60-64
ZHENG Shuofang, HE Ruiheng. Research on application method of standard review in equipment development[J]. Standard Science, 2017(3): 60-64 (in Chinese)
- [9] 丁茜, 王跃利, 沈洋, 等. UAF 的方法论意义[J]. 军事运筹与系统工程, 2018, 32(12): 63-67
DING Qian, WANG Yueli, SHEN Yang, et al. Methodology significance of UAF[J]. Military Operational Planning, 2018, 32(12): 63-67 (in Chinese)
- [10] 刘婧婷, 郭继坤. 基于 UAF 元模型的战区联合作战精确保障体系构建方法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2020, 42(6): 1324-1331
LIU Jingting, GUO Jikun. Establishment of efficient support system for joint operations in theater command based on DMM of UAF[J]. Systems Engineering and Electronics, 2020, 42(6): 1324-1331 (in Chinese)
- [11] Object Management Group. Unified architecture framework modeling language(UAFML) version 1.2. [EB/OL].(2022-07-01) [2022-07-25]. <https://www.omg.org/spec/UAF/1.2/UAMFL/PDF>
- [12] 罗海东, 陈芝来, 王伟生. 基于标准视图模型的发动机标准体系构建与应用探讨[J]. 航空动力, 2020(4): 64-67
LUO Haidong, CHEN Zhilai, WANG Weisheng. Discussion on construction and application of aero engine standard system based on standard view model[J]. Aerospace Power, 2020(4): 64-67 (in Chinese)
- [13] 何瑞恒, 郑朔昉, 吕保良, 等. 基于需求的无人直升机标准视图建模研究[J]. 直升机技术, 2018(2): 47-51
HE Ruiheng, ZHENG Shuofang, LYU Baoliang, et al. Research of standard view in unmanned helicopter development based on requirement[J]. Helicopter Technique, 2018(2): 47-51 (in Chinese)
- [14] 郑朔昉, 何瑞恒, 任文明. 基于 UAF 建模的装备标准集生成技术研究[J]. 系统仿真学报, 2021, 33(7): 1534-1541
ZHENG Shuofang, HE Ruiheng, Ren Wenming. Research on generating technology for equipment standard set based on UAF modeling[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(7): 1534-1541 (in Chinese)

Research on process-oriented standard requirements generation technique for equipment research & development

WANG Changxi, TANG Wei, LIU Qiguo, ZHANG Xiaoming
(China Aero-Polytechnology Establishment, Beijing 100028, China)

Abstract: Standard requirement generation method is a core technique of standard formation. Due to the lack of systems approach, missing of standard technical elements, weak correlation between standards and research and development(R & D) activities are appeared frequently. Deficiencies in integrity, applicability and traceability of standards can be observed noticeably, which makes the equipment standards cannot bring into full play of cost reduction and efficiency improvement, cannot promote the equipment technology development effectively. According to the positive development requirements of independent and controllable standards, an activity-based standard requirement capture scene model is defined, a mechanization of standard requirement identification is described, a standard configuration, standard element definition and standard requirement integration methods are provided, a mapping matrices of activities, tools, database and standard requirement are established, a process-oriented standard requirements generation method for equipment R & D is finally proposed. By applying in aircraft engine compressor aerodynamic design field, the proposed method shows that the effectiveness of the building relationships between the standards and equipment R & D activities, which can ensure the integrity, availability and uniqueness of standard requirements, support equipment standard systems independent and controllable development.

Keywords: standard requirement; standard requirement capture scene model; research and development activities of equipment; requirement identification

引用格式:王长溪, 唐伟, 刘启国, 等. 面向装备研发过程的标准需求生成技术研究[J]. 西北工业大学学报, 2023, 41(1): 160-169
WANG Changxi, TANG Wei, LIU Qiguo, et al. Research on process-oriented standard requirements generation technique for equipment research & development[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2023, 41(1): 160-169 (in Chinese)