

模型驱动的航天型号技术状态管理方法研究

赵 寒¹ 张荣霞²

(1. 北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094; 2. 中国空间技术研究院, 北京 100094)



摘要: 针对航天型号技术状态管理中存在的离散式管理状态, 系统性、连续性差, 控制粗放、精细度不够等现实问题, 提出了模型驱动的航天型号技术状态管理方法。该方法立足于对航天型号技术状态管理的内涵和需求的分析, 结合模型驱动的系统工程思想, 通过建立统一的技术状态全局描述模型, 驱动技术状态的演化过程, 实现一种精细化、连续可追溯的技术状态管理模式。

关键词: 模型驱动; 技术状态管理; 技术状态模型; 技术状态演化

Research on Model-driven Aerospace Configuration Management Method

Zhao Han¹ Zhang Rongxia²

(1. Beijing Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100094;

2. China Academy of Space Technology, Beijing 100094)

Abstract: For the lack of adaptation capacity of poor systematic and continuity, and extensive control of discrete configuration management, a new model-driven aerospace configuration management method is proposed. The method establishes a model-driven mechanism based on a unified configuration model that supports the description of both static specification and dynamic evolution of technical states or configuration. Built on the top of this mechanism, a full cycle, traceable and precise configuration management is realized.

Key words: model-driven; configuration management; configuration model; configuration evolution

1 引言

技术状态管理是保证将用户对产品的功能、物理等特性的要求, 反应到设计、生产中, 并最终实现用户要求的一种管理技术和方法。50多年来, 我国航天科技工业已经基本形成了“两条指挥线”、“全过程受控”、“产品数据包”等一整套具有中国特色的型号研制技术状态管理的做法和经验, 保障了“两弹一星”、“载人航天”、“探月”工程等重点型号和重大工程的成功, 对型号研制工作发挥着基础保障作用^[1, 2]。

技术状态管理需要保证从产品研制与设计开始, 并在产品的整个寿命周期内所需的全部技术文件现行有效、正确无误, 使管理者清楚地掌握这些技术文件与产品状态的一致性^[3]。然而, 针对航天产品研制

新形势下型号研制数量大、周期短; 新产品、新技术、新方法不断涌现; 型号系列化研制成为常态, 耦合关系愈加密切, 产品化趋势明显; 协作面广的特点。传统的以“技术文件”为核心的技术状态管理方法在管理粒度、系统性、连续性和多型号适应性方面存在不足, 技术状态管理所期望的完整性、一致性和可追溯能力尚未全面具备, 迫切需要技术状态管理方法在继承优秀传统的基础上实现新的跨越发展。

综上所述, 本文提出模型驱动的航天型号技术状态管理方法。首先给出型号技术状态管理的内涵和需求; 然后详细阐述模型驱动的思想以及该思想的引入对技术状态管理能力提升带来的巨大作用; 最后对模型驱动的技术状态管理方法及其所包含的关键技术进行了说明, 并分析了模型驱动的技术状态管理方法

作者简介: 赵寒 (1980-), 博士, 航空宇航制造工程专业; 研究方向: 数字化设计、产品数据管理。

收稿日期: 2013-07-20

的特点。

2 航天型号技术状态管理内涵

技术状态是指在技术文件中规定的,并且在产品(硬件、软件)中达到的功能特性(Function Characteristics)和物理特性(Physical Characteristics)^[4]。通常情况下,技术状态包含两个方面的内涵^[5],一是某个具体产品所具有的功能特性和物理特征,二是同一产品在其生命周期不同阶段所达到的功能特性和物理特征。前者是一种静态的体现,描述产品在生命周期某个时间点的技术状态;后者是一种动态的体现,描述产品技术状态在生命周期中的演化过程。可见,技术状态具有两个关键特性:技术状态是产品达到的或预期达到的特性的综合,通过全套技术文件来表征的;技术状态不是一成不变的,其演化过程清晰地再现了从用户需求到产品实现的全过程。

在数字化环境下,航天型号的技术状态管理通过对标识、纪实、审核等过程的管理,实现了对全生命周期中任何产品功能、性能和物理特性的控制。从技术角度看,型号技术状态管理是对产品全生命周期过程中数据的生成、更改、传递、保存等一系列活动进行的处理与控制,其实质上是一种面向型号全生命周期,通过对产品数据在静态和动态两个层面进行定义和控制的管理技术。其目的是保证产品技术状态在其生命周期内得到控制和保持,确保数据的有效性、准确性、一致性、完整性和可追溯性。

a. 技术状态管理是型号系统工程管理的重要组成部分。系统工程的核心是按照事物本身的系统性来分析和认识问题,以期达到系统的整体最优化。技术状态管理通过技术状态标识、技术状态控制、技术状态纪实、技术状态审核等活动实现了对系统的定义和控制,对大型复杂产品或系统的研制起到了重要的管控作用,是保证系统成功研制的重要手段。

b. 技术状态管理的范围覆盖型号研制全生命周期。技术状态管理涵盖了从产品规划到产品消亡的整个生命周期过程,包含了产品设计、制造、试验、测试、总装等业务过程。

c. 技术状态管理的任务是对产品数据在静态和动态两个层面进行定义和控制。在静态上,建立产品数据的组织方式、描述方式,维护生命周期中的全部产品数据,能够清晰地反应产品在某一生命周期时间点的技术状态;在动态上,建立产品数据的内在关联

关系,包括生命周期过程关联和产品数据之间的关联,能够清晰记录完整的演化过程,确保技术状态的全生命周期可追溯。

3 航天型号技术状态管理的新需求

3.1 静态组织:建立统一的技术状态全局描述模型

随着型号研制数量的不断增加、技战术指标的不断提升,对技术状态管理的要求也在发生重大变化。单型号环境下,各自为政,只需关注本型号内部的技术状态即可。对于多型号而言,由于系列设计、借用设计、通用化设计等方法和手段的大量采用,型号与型号之间不可避免地存在内在关联,只有建立统一的技术状态描述标准,才能够在全局层面管控多型号技术状态,实现技术状态的可重用、可复现。但是,由于当前的技术状态管理模式围绕技术文件展开,大量的状态信息隐含在文件内部,管理粒度粗放,技术状态信息离散分布,割裂了内在关联,在这种情况下,难以通过抽象和提炼发现型号技术状态管理的深层次共性特征,进而形成统一的技术状态描述标准。因此,必须转变当前的管理模式,将管理粒度进一步精细化,获取隐含于技术文件内部的关键技术状态信息及其关联关系,并通过建模的方式进行固化,从而在全局角度形成统一的精细化技术状态描述模型,进而驱动技术状态管理过程。

3.2 动态机制:建立连续、一致、可追溯的技术状态演化控制机制

技术状态管理覆盖从用户需求到产品实现的全生命周期,其目的是从用户任务的需求和上层的系统要求出发,在预算、进度和其他限制条件下,研制一个整体性能优化的系统。传统的技术状态演化过程采用提交数据包的方式进行记录,往往是在转阶段、产品验收等关键时间点进行,一方面收集整理周期长,另一方面连续性、一致性、可追溯性难以保障,技术状态变更和控制过程过多依赖人为判断,难以保证控制的完备性、全面性和系统性。因此,需要转变现有的管理方式,利用统一技术状态模型,形成技术状态的描述标准,规范技术状态要素之间的关联关系,进一步建立面向全生命周期的连续、一致、可追溯的技术状态演化控制机制,从用户需求开始全面记录和系统化管理,直到最终完成型号实物产品研制,以及成功发射、在轨测试并交付的全过程技术状态。

4 模型驱动的技术状态管理方法核心思想

为了满足航天型号技术状态管理在静态组织和动态控制方面的新要求，需要将当前的基于系统工程的技术状态管理思想进行延伸与创新，建立模型驱动的技术状态管理新思路。

将系统工程与模型相结合的思想目前已成为系统工程发展的最新方向，基于模型的系统工程（Model-Based System Engineering MBSE）^[6]的目的是推动航天型号研制从基于文档的系统工程（Document-Based System Engineering）向基于模型的系统工程转变。能够在客户问题空间（Customer Problem Space）和设计求解空间（Designer Solution Space）之间架起沟通的桥梁。MBSE 的思想是使用模型来贯穿研制全过程，将蕴涵于文档内部的技术状态信息显性化。MBSE 以需求捕获、确认和分配为源头，

以功能和物理实现为方式，利用模型定义消息，规范整个系统的接口，最终达到全生命周期可追溯的目的。MBSE 是一种系统工程的实现途径，通过对研制各阶段的主要活动进行模型化，例如任务模型、需求模型、功能模型、物理模型、验证模型等，确保产品研发全过程的完整性、一致性、连续性、可追溯性。

从以上分析可以看出，模型驱动的系统工程管理思想能够将隐含于文档内部的管理要素和管理思想通过模型的方式进行显性化、固化、持久化，能够更好地将产品研发过程中的经验、知识复用于新的产品研发过程，实现一种精细化、连续可追溯的工程管理过程。因此，将该思想引入技术状态管理过程，有助于解决技术状态管理在动态和静态两个层面提出的新需求。本文提出模型驱动的航天型号技术状态管理方法，其核心思想如下（见图 1）。

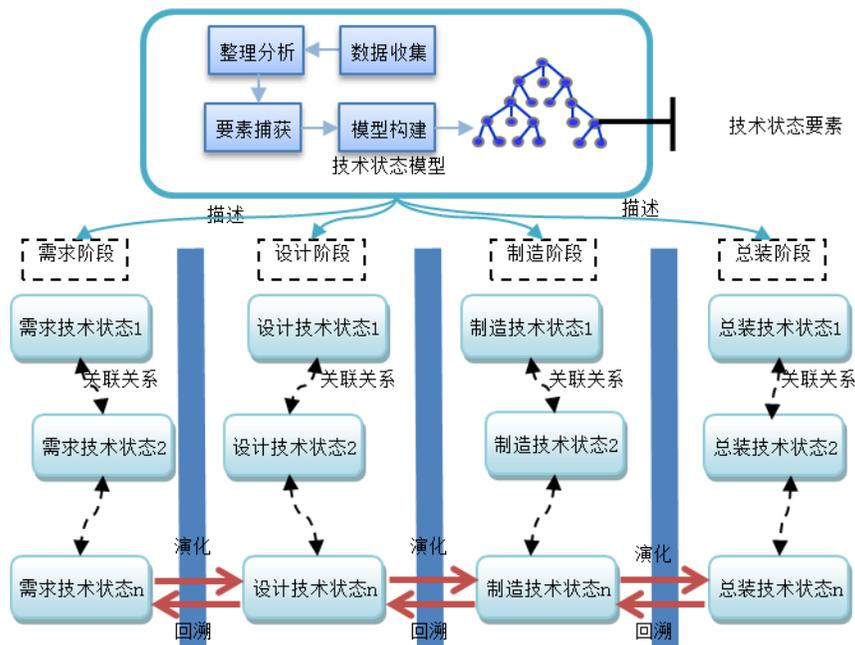


图 1 模型驱动的技术状态管理原理

“以动静耦合的技术状态模型为基础，以面向要素层面的细粒度技术状态静态描述为核心，以系统的、连续的技术状态动态演化和追溯为手段”，实现航天型号技术状态的全周期、细粒度、精细化管理：

a. 产品研发过程中产生的大量技术文件是技术状态管理的主要对象，技术状态信息隐含在文件内部，因此，首先需要面向产品全生命周期，通过收集、整理、抽象和提炼的方式发现型号技术状态管理的深层次共性特征，即获取隐含于文件内部的技术状态要

素、关联关系及其演化原理，并通过建模的方式进行固化，从而在要素层面形成统一的技术状态模型，进而在静态的精细化描述和动态的关联演化两个维度驱动整个技术状态管理过程。

b. 通过技术状态模型在产品对象的各个生命周期阶段的映射，形成能够表征各个阶段技术状态特征的要素集合，同时建立要素之间的关联关系，形成技术状态因果链路，实现以技术状态要素为最小管理单元，要素之间关联关系完整的精细化技术状态描述，

支撑后续的具备系统性和连续性的技术状态动态演化和追溯。

c. 利用技术状态静态描述结果,进行面向要素层面的演化过程控制与分析,以及面向全生命周期的多维度、细粒度的技术状态追溯。在研制全生命周期内,建立连续、一致、可追溯的技术状态演化控制机制,从用户需求开始全面记录和系统化管理,直到最终型号实物产品研制完成,以及成功发射、在轨测试并交付的全过程技术状态,实现技术状态管理过程在型号研制全生命周期的可控演化,保持各个阶段产品研制技术状态的完整、一致、可追溯。

模型驱动的技术状态管理思想在现有的技术状态管理体系的基础上,通过在精细化和连续性方面的提升,获得技术状态管理能力的提升,在运作过程中,不断地完善模型体系,丰富模型内容,挖掘出隐含于技术状态管理工作中的隐含要素,变“知其然”为“知其所以然”,变依赖于经验、知识的技术状态管理为依赖流程、规范的技术状态管理。同时,需要指出的是,这种管理思想的实现不是一蹴而就的,必然是不断完善、充实的过程。

5 模型驱动的航天型号技术状态管理方法

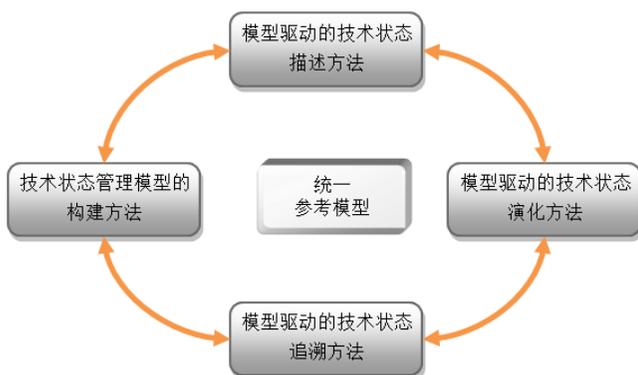


图2 模型驱动的技术状态管理方法

基于核心思想的阐述,模型驱动的航天型号技术状态管理方法可以表述如下:模型驱动的航天型号技术状态管理方法围绕统一参考模型(“动静”耦合的技术状态模型)展开,依据模型驱动的思想,整个方法的核心活动均受控于模型,从模型初始化开始(建立统一的技术状态模型),经历实例化(技术状态模型在产品对象的各个生命周期阶段的映射),实例化模型的调整(生命周期阶段模型的演化过程控制)和应用(完整、一致、连续、可追溯的技术状态应用),

以及对初始化模型的不断完善,从而形成一种完整的循环体系,如图2所示。

5.1 技术状态模型的构建方法

该方法是模型驱动的技术状态管理方法体系的核心方法,用以产生“动静”耦合的技术状态模型,是建立模型驱动的技术状态管理机制的前提。该方法针对航天型号的特点,提出基于“动静”耦合的技术状态模型,从当前航天型号系列化研制的共性特征出发,在静态组织和动态演化机制两个维度对模型进行详细描述,在静态组织层面,通过挖掘、提炼和抽象技术状态管理中的最本质共性要素,建立统一的技术状态要素模型;在动态演化方面,立足于静态要素模型,面向产品全生命周期,遵循系统工程的演化过程,将技术状态管理要素与产品生命周期中的各个阶段的相关产品数据有序捆绑,从而清晰地控制、捕获、记录产品技术状态的演化过程。

5.2 模型驱动的技术状态描述方法

技术状态模型在动静两个层面建立了技术状态要素的统一描述标准。模型驱动的技术状态描述方法通过建立技术状态要素与具体产品对象在产品研制不同阶段的技术状态信息之间的关联关系,实现实际技术状态信息的模型化描述,从而建立模型与技术状态数据之间的语义描述关系,形成模型驱动的技术状态信息管理机制的基础。由于技术状态管理所关注的要素隐含于型号产品数据中,该方法需要针对产品生命周期阶段所产生的各类产品数据,以语义发现的方式,获取蕴涵于产品数据中的技术状态要素,通过语义标注的方式实现技术状态信息内容与所蕴含技术状态要素进行语义关联,最后,面向全生命周期的技术状态演化,利用基于数据挖掘的演化关系建立方法,形成可追溯的技术状态因果链。

5.3 模型驱动的技术状态演化与追溯方法

技术状态的演化过程就是从型号产品研制开始,直到最终完成型号实物产品研制,并成功发射、在轨测试并交付的全过程中技术状态的演进过程。模型驱动的技术状态描述方法用以建立技术状态数据与模型之间的语义描述关系,实现实际技术状态数据基于模型的语义描述和精细化组织。在此基础上,需要捕捉技术状态的演变过程,要做好技术状态控制,需要完成精细化的技术状态影响分析。通过变更分析、变更传播范围确定、变更实施等方式,计算波动范围,确定受影响对象,精确定位、及时处理,完成闭环模式下的更改过程,确保技术状态控制全面有效。同样,

技术状态的追溯依旧立足于精细化的技术状态描述基础上,利用技术状态演化模型,实现覆盖全生命周期、多维度、细粒度、完整一致的技术状态追溯,更好地支持技术状态问题的准确定位、快速发现、及时解决。从而有效地缩短研制周期、降低成本,更好地确保产品的质量和可靠性。

方法的一个重要特性是具备系统性、连续性、可追溯性的技术状态管理能力,这种能力建立在详实的数据记录和完备的数据组织的基础上。如图3所示。

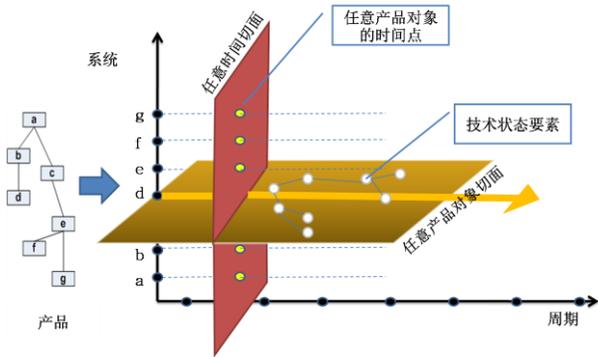


图3 系统性、连续性、可追溯性的技术状态管理机制

以型号研制过程为主线,针对产品设计、工艺、制造、装配、测试试验、验收、出厂等生命周期阶段所产生的产品数据的特点,以统一的参考模型为依据,以产品结构层次关系为基础,实现产品研制过程中技术状态信息的结构化,形成可追溯的技术状态因果链。

产品生命周期维是时间域上的概念,将产品研制的全部过程活动在时间轴上进行投影形成。通过将技术状态管理要素映射到不同的研制阶段,将不同阶段的技术状态管理活动所关注的要点关联起来,并保持其连续性和可追溯性。

系统维是型号产品对象在空间上的投影,其载体是产品结构。随着产品从概念到实物,产品技术状态信息也同步形成,产品结构的每个节点关联了各种技术状态信息,包括设计、工艺、制造等过程数据信息,以及数据版本、有效性、基线、变更等管理信息。

从系统维度做切面,将获得某个具体的产品对象在整个生命周期内的技术状态演化情况;从产品生命周期维做切面,将获得任意时间节点上所有相关产品对象的技术状态,也就是一个基于产品结构的描述集

合。横纵轴交点即为某一产品对象在某一时间点上的技术状态信息。

这种多维度耦合的技术状态描述和组织方式,能够在要素层面精细化地全面反映从用户需求到最后航天器出厂的各个环节所产生的技术状态信息,并且以树形结构层次化地有机地组织起来,在型号产品任一生命周期时间点做到技术状态有源可寻。同时,可以按照时间维度、系统维度和要素维度对型号技术状态进行全面完备的管理和控制,全面提高技术状态管理的系统性、连续性和可追溯性。

6 结束语

模型驱动的航天型号技术状态管理方法立足于对航天型号技术状态管理的内涵和需求分析,结合模型驱动的系统工程思想,通过建立统一的技术状态全局描述模型,驱动技术状态的演化过程,实现一种精细化、连续可追溯的技术状态管理模式。将技术状态管理从“知其然”转变为“知其所以然”,从依赖于“经验和判断”转变为依赖于“流程和方法”。

随着航天研制工作量的增加,模型驱动的航天型号技术状态管理方法有助于航天企业建立一种全新的技术状态管控模式,实现一种精细化、连续可追溯的技术状态管理过程,有力地支撑产品研制质量保障和可靠性需求。

参考文献

- 1 马兴瑞. 中国航天的系统工程管理与实践[J]. 中国航天, 2008, 1: 7~15
- 2 袁家军. 以航天系统工程优势建造国际一流卫星导航系统[J]. 中国航天, 2010, 6: 3~5.
- 3 花禄森. 系统工程与航天系统工程管理[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2007
- 4 诸一维, 罗琪. QJ 3118—99《航天产品技术状态管理》介绍[J]. 航天标准化, 1999, 5: 14~17
- 5 陈明丽, 高德记. 技术状态管理的认识与实践[J]. 航空标准化与质量, 2004, 3: 27~30
- 6 Estefan, Jeff A. Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies[OL]. INCOSE Technical Publication, Document No: INCOSE-TD-2007-003-01, International Council on Systems Engineering, 2008. http://omgsysml.org/MBSE_Methodology_Survey_RevB.pdf