

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.04.013

# 系统工程方法在民用航空产品 研制中的应用思考

## Consideration of Construction Methodology of Systems Engineering for Civil Aviation Product Development

刘鸿雁 / LIU Hongyan

(上海飞机客户服务有限公司, 上海 200241)

(Shanghai Aircraft Customer Service Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

### 摘要:

随着航空产品研制日益复杂,越来越多的民用航空企业都期望在产品研制中应用并推广系统工程的方法,以提高企业民用航空产品的研制能力,为此需要按系统工程的方法构建民用航空产品研制体系。针对该问题,从要求层、程序层、方法层、作业层四层体系架构进行了阐述,对顶层的系统工程要求如何在具体实践之间的落地进行了探索。

**关键词:** 系统工程; 民用航空产品; 研制体系

**中图分类号:** N945

**文献标识码:** A

**OSID:**



**[Abstract]** This article studies the construction methodology of systems engineering for complex aviation products. With the growth of the complexity of aviation product development, aviation-manufacturing enterprises in China expect to apply the methodology of systems engineering in their development processes to improve the development capability for complex products. To solve this problem, a four-layer architecture is proposed, which includes request layer, process layer, method layer, and operation layer. Through this architecture, top-level regulations and requests can be decomposed and refined layer by layer, and then transformed into practical operations. In addition, some key problems that may arise in the system construction of systems engineering were also discussed.

**[Keywords]** systems engineering; complex systems; aviation product; development system management

## 1 系统工程概述

### 1.1 “系统工程”的定义

按照国际系统工程协会(International Council on Systems Engineering, 简称 INCOSE)的定义:系统工程是一种使系统能够成功实现的跨学科的方法和手段。系统工程专注于:在开发周期的早期阶段,就定义客户需求与所要求的功能,将需求文件化;然后再考虑完整问题,即运行、成本、进度、性能、培训、保障、试验、制造和退出问题时,进行设计综合和系统确认<sup>[1]</sup>。

从定义来看,系统工程具有四个显著特点:面向

整个系统、面向全生命周期、跨学科以及对利益攸关多方的综合权衡。系统工程的落地对企业复合型人才的需求也更加凸显。系统工程从整体的角度分析问题,结构化剖析系统的架构和组成,并提供覆盖全生命周期的产品研制和管理流程集。作为解决复杂系统研发、生产与管理的方法论,系统工程目前已经成为解决制造企业中复杂问题、系统问题的核心手段,同时也是从事高度复杂系统产品开发行业的发展趋势。

### 1.2 系统工程应用

系统工程自诞生以来,在国际上影响广泛。1990年,在波音、洛克希德等航空航天、防务公司的

大力倡导下,国际系统工程协会(INCOSE)正式创立,该组织推动系统工程在学术界、工业界的应用能力和实践水平,以满足产业和产品趋向高复杂化的发展需求<sup>[1]</sup>。

目前,我国系统工程和国际先进系统工程水平尚存在一定差距<sup>[2]</sup>,国内相关领域的学术研究和企业实践的缺乏导致无法短时间建立系统化、结构化的适合中国企业的系统工程知识体系。但随着我国聚焦经济转型升级、深化改革,提出完成工业大国到工业强国的转变要求,同时企业和整个社会面临越来越严峻的系统复杂性增长的问题,系统工程作为解决复杂系统正向设计的方法,其重要性再次彰显。2008年的GB/T 22032-2008/ISO/IEC 15288:2002《系统工程 系统生存周期过程》<sup>[3]</sup>和2013年的GJB 8113-2013《武器装备研制系统工程通用要求》<sup>[4]</sup>的颁布,意味着系统工程的相关要求被正式列入我国通用工程标准。

### 1.3 民用航空产品研制的系统工程

航空产品研制是涉及多学科的复杂系统工程。随着机械、电子、电气、流体、热、光、软件等多学科在航空产品研发过程中的深入应用,以及跨地域、多企业联合协同模式的推广,航空产品研发技术复杂性和组织复杂性的特点愈发明显,航空产品研制应用系统工程方法已成为大势所趋<sup>[5]</sup>。

目前,国际领先的航空研发企业波音、空客等,均在其大型飞机项目中应用了系统工程的方法。以波音宽体系列、空客宽体系列为例,这些项目均采用了系统工程的研制和管理方法,是使用系统工程完成高复杂性与高风险性并存的大型飞机项目的典型案例<sup>[2]</sup>。

在国内,随着多项目同时推进,中国商飞也在产品开发过程中逐步探索系统工程在商用飞机领域的应用,尤其是如何与自身组织架构、管理体系、企业文化、多项目不同阶段等企业自身特点的融合。

## 2 民用航空产品系统工程体系架构设想

系统工程的理论和方法已经在民用航空产品研发领域得到广泛的应用,基于系统工程理论和方法制定的工业标准,如SAE ARP-4754、RTCA DO-178、RTCA DO-254、RTCA DO-297也已获得了FAA、EASA等主流适航当局的认可。目前国内对于在民

用飞机和系统开发领域应用系统工程方法论已经达成了普遍共识,但是尚未形成完整、有效的实施方案,本文针对其中最重要的民用航空产品系统工程体系建设问题进行了深入研究,提出解决问题的思路。

系统工程的应用和推广无法一蹴而就,单纯引入国外标准、国外手册无法实现。实践表明,可落地、可执行、可支持工程研制的系统工程知识体系需要首先确定明确的目标,然后以自顶向下正向形式为主,自底向上逆向形式为辅,才有可能开发出完善的系统工程体系。因此本文提出如下的设想。

如图1所示,整个民用航空产品系统工程体系结构自顶向下依次是:要求层、程序层、方法层和作业层。通过这种逐层分解、逐层细化的方法,实现从顶层要求到具体实践的逐一落地,建立内容上包含流程、方法、工具的完整体系。

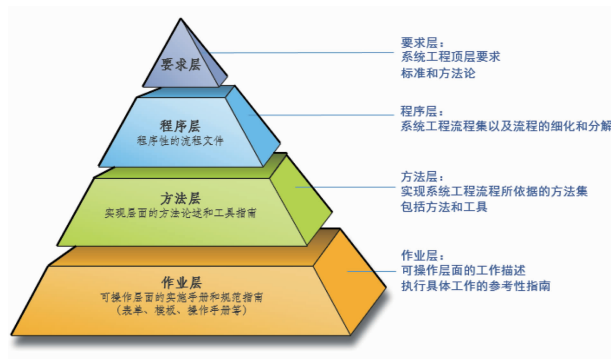


图1 民用航空产品系统工程体系架构

系统工程体系中各层级的内容说明如下。

### 2.1 要求层

要求层是系统工程体系建设的顶层要求和顶层纲领,是描述体系总体架构和建设要求的纲领性文件,是整个体系建设、工程实施应遵循的总要求。要求层应准确规定体系建设目标,划定体系范围和边界,定义体系构建过程,以及表述各过程之间的相互关系。要求层包含系统工程顶层标准和方法论。对于民用航空产品系统工程体系,本文将以国际系统工程协会(INCOSE)系统工程方法论为体系要求层。INCOSE系统工程方法论包含四大板块内容,以四个流程组的形式存在,分别是技术流程、项目流程、协议流程、组织的项目使能流程,具体如图2所示。

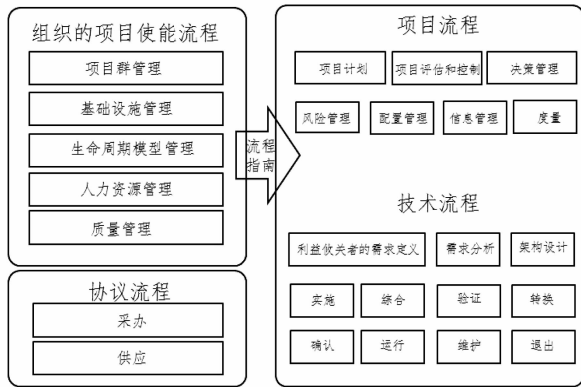


图 2 INCOSE 系统工程的主要流程组

INCOSE 系统工程中的四大流程组在整个体系中的构建思路相同,可以按照相同的方法进行构建。图 3 展示的是系统工程体系中技术流程的构建思路。

### 2.2 程序层

程序层包含系统工程要求的流程和活动,包括它们的目的、内容和要求,回答了系统工程应该“做什么”的问题。程序层将列出系统工程中的关键流程,定义各系统工程流程应完成的工作内容,以及流程的输入输出、控制使能。程序层包含详细的流程文件,它们作为支持性文件而存在。

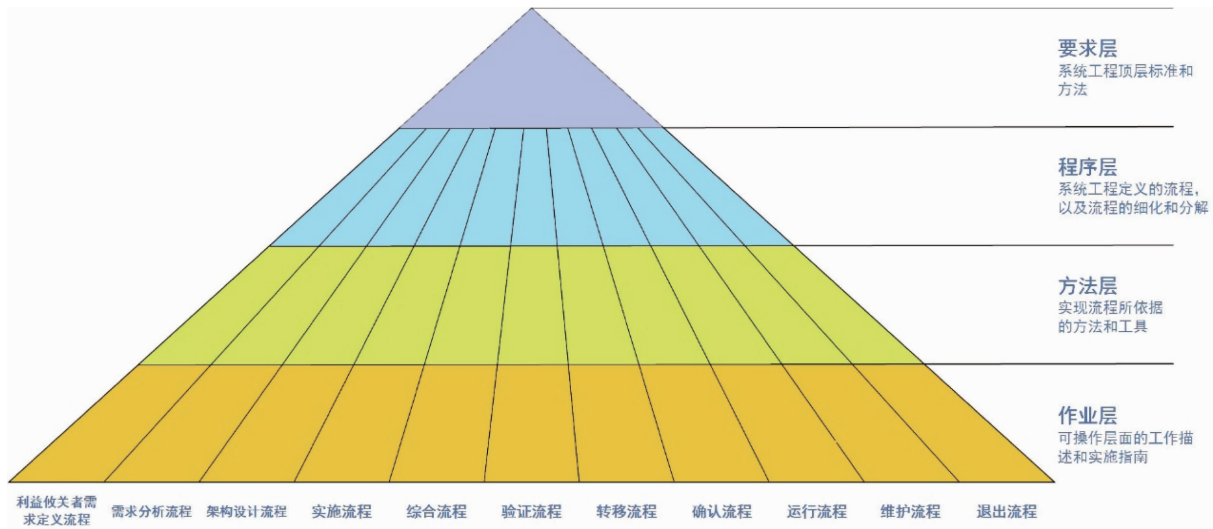


图 3 民用航空产品系统工程体系技术流程部分

程序层首先需完成对要求层中规定的系统工程的详细说明,定义各流程的目的、内容、要求、输入输出以及控制使能等多方面内容,明确流程内容和流程要求。另一方面,程序层还需完成对要求层的细化和分解过程,将要求层中简洁而概括的顶层要求分解为可行的、可实现的详细流程,从而实现系统工程顶层要求的向下落地。

程序层解决系统工程应用中“做什么”的问题。相比要求层,程序层负责通过更详细的流程和活动来定义系统工程内容。程序层站在问题域,考虑的是系统工程的流程拆分细化问题,在分解的层面上将顶层要求向下落地。

### 2.3 方法层

当程序层完成了流程的定义,方法层将寻找对应的方法和工具将其实现。方法层规定了完成系统工程流程所依据方法和工具,回答系统工程实施中

“怎么做”的问题。方法层站在解决域,考虑的是流程的实现问题。方法层包括方法论文件和工具使用文件。

程序层定义清楚系统工程的详细流程内容,方法层将站在实现的层面上寻找方法和工具来实现这些流程。方法层解决系统工程应用中“怎么做”的问题,解决目前实施人员面对系统工程要求却无从下手的问题。方法层需要定义系统工程应用中各流程所依据方法和工具,从而为实施活动提供方法指导。要求层、程序层、方法层关系示意如图 4 所示。

方法层站在解决域,考虑的是流程的实现方法。和产品研发中的设计过程和实现过程类似,方法层负责完成问题域到解决域的解答,如图 5 所示。方法层涉及的是从无到有的问题解答过程,这一方面需要丰富的知识积累,了解世界现有的方法和工具,能够迅速调用现有方法解决问题;另一方面又需

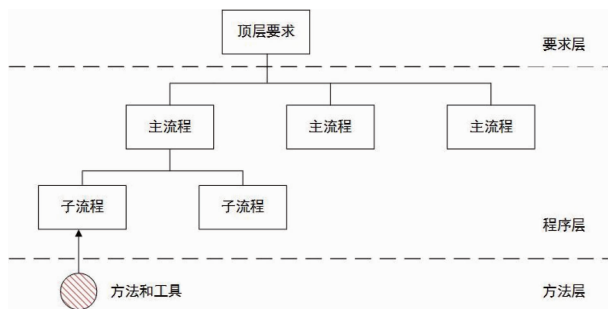


图 4 要求层、程序层、方法层关系示意

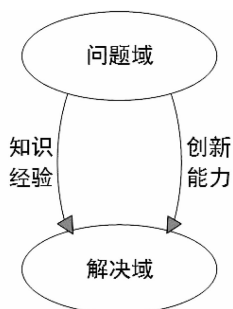


图 5 方法层中从问题域到解决域的转化

要自主创新的能力,当现有的办法解决不了问题时,能够从无到有地自主提出解决方法。

### 2.4 作业层

当方法层定义清楚流程的实现方法,作业层则站在具体实践和工作的层面,定义具体到操作的细节指导。作业层为系统工程的实际实践活动提供更具体的工作指导,用条目化的要求来规定工作单元。作业层包括各种操作手册、作业指导书、工作表单。

程序层完成详细流程的定义、方法层探索流程的实现方法,而作业层则站在具体实践的层面上,定义具体到操作的作业细节指导。作业层通过条目化的指导手册、工作表单等方式,规定系统工程应用中的可执行操作,为系统工程应用中的活动提供作业指导和细节支持。

作业层的建立除了自顶向下的正向方法论开发之外,也重视和依赖自底向上的企业工程经验积累

和梳理。作业层涉及广泛,且均是和具体操作、具体活动紧密相关的任务定义和工作说明。企业可以借助系统工程体系,以体系架构为大纲,将底层操作文档向上对接,对现有操作文档进行重新梳理。

## 3 结论

为了应对产品复杂性与日剧增的问题,越来越多的企业都开始在产品研制过程中应用系统工程的方法。本文针对系统工程应用中顶层标准和方法论难以落地、不能指导实践的问题,提出了开展系统工程体系建设的建议,通过程序层、方法层、作业层的建立,完成自顶层标准向下到程序、方法、工具、具体操作的逐层落地。

系统工程体系通过架构和分解的方法,将国际系统工程顶层标准转变为可落地、可支持工程具体研制的知识体系。

### 参考文献:

- [1] HASKINS C. INCOSE systems engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities[M] version 3. [S.l.]:John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [2] 张新国. 迎接航空工业新一轮技术革命[J]. 航空科学技术, 2011(2):1-3.
- [3] 中国国家标准化管理委员会. 系统工程 系统生存周期过程:GB/T 22032-2008/ISO/IEC 15288:2002[S]. 中国:中国质量监督检验检疫总局中国国家标准化管理委员会, 2008.
- [4] 中国人民解放军总装备部. 武器装备研制系统工程通用要求:GJB 8113-2013[S]. 中国:中国人民解放军总装备部, 2013.
- [5] 张新国. 新一轮工业革命与中国航空工业的发展[N]. 中国航空报,2014-1-18(2).

### 作者简介

刘鸿雁 女,大专,工程师。主要研究方向:档案管理、系统工程。E-mail:liuhongyan@comac.cc