民用航空发动机运行支持体系架构设计

蒋　平,刘静琳,黄劲东
(中国航发商用航空发动机有限责任公司,上海 200241)

摘要:民用航空发动机运行支持体系是当前民用航空运输市场的准入条件,也是适航法规规定的强制要求。为构建中国民用航空发动机运行支持体系,通过剖析中国民用航空发动机运行支持体系建设所面临的问题与挑战和对国际主流标杆企业的案例,采用系统工程和流程建模的方法进行中国民用航空发动机运行支持体系总体架构设计。民用航空发动机运行支持体系包括流程架构、标准架构、信息化架构、技术研究架构等核心要素;其核心业务由客户支援、工程技术、技术出版物、航材支援、培训与大修/维修 6 个模块组成;系统工程方法可将运行支持体系与设计、制造保证体系有效地结合。

关键词: 民用航空发动机;运行支持体系;客户服务;架构设计
中图分类号: V37　　**文献标识码:**A　　**doi:**10.13477/j.cnki.aeroengine.2019.04.016

Frame Design of Civil Aeroengine Operation Support System

JIANG Ping, LIU Jing-lin, HUANG Jin-dong
(AECC Commercial Aircraft Engine Co.,LTD.,Shanghai 200241,China)

Abstract: The civil aeroengine operation support system (CAOSS) is not only the admission condition of the current civil aviation transportation market,but also the compulsory requirement of airworthiness regulations. In order to construct Chinese CAOSS,the overall frame of Chinese CAOSS based on system engineering and process modeling was design by analyzing the problems and challenges faced by the construction of Chinese CAOSS and the cases of international mainstream benchmarking enterprises. CAOSS includes core elements such as process frame,standard frame,informatization frame,technical research frame and so on. Its core business consists of customer support,engineering technology,technical publications,aviation material support,training and overhaul / maintenance. The system engineering method can combine the operation support system with the design and manufacture guarantee system effectively.

Key words: civil aeroengine;operation support system;customer service;frame design

0　引言

目前,世界上的民用发动机主制造商往往无法从发动机销售中获利,其主要盈利来自发动机服务过程(如发动机备件销售和发动机大修服务)。据统计,GE 公司发动机利润的 60%以上来源于其售后服务。2017 年,全球航空发动机维修业务市值已达 300 亿美元,预计未来 10 年的年均增长率为 4.9%,是增长最快的业务单元[1-3]。然而,民用航空发动机系统高度复杂,对安全性、可靠性、经济性、维修性有着极高的要求,其核心技术属于发动机主制造商核心商业机密,所以航空公司须依赖发动机主制造商向其提供及精准的服务保障,以维持其机队的安全稳定运行。目前,包括 GE、RR、PW 公司在内的发动机制造商均建立了完备的运行支持体系,为航空公司提供涵盖产品全生命周期的各项客户服务,实时响应发动机运行过程中产生的各项需求[4-5]。此外,为进一步提高飞机产品的市场竞争性,飞机主制造商也对发动机等主要系统供应商提出建立完备的运行支持体系的要求,并列入其重点考核标准。因此,建立完备的发动机运行支持体系已成为目前民用航空发动机市场的基本准入条件。

另外,适航法规不仅对航空器产品的设计、制造等提出要求,对产品的持续安全运行和维修也提出明

收稿日期:2018-10-24　**基金项目:**工信部民机预研专项资助
作者简介:蒋平(1978),男,博士,高级工程师,从事民用航空发动机运行支持体系建设、客户服务技术研究工作;E-mail:jiangp@acae.com.cn。

引用格式:*蒋平,刘静琳,黄劲东.民用航空发动机运行支持体系架构设计[J].航空发动机,2019,45(4):79-85. JIANG Ping,LIU Jinglin,HUANG Jindong.Frame design of civil aeroengine operation support system[J].航空发动机,2019,45(4):79-85.*

确要求,MD-FS-AEG006《航空器制造厂家运行支持体系建设规范》中规定:建立运行支持体系是航空器制造厂家的基本责任[6]。民用航空发动机是航空器上极其重要的系统,并且因其高度复杂性与较高的技术门槛,在投入使用后的运行支持服务都是由发动机制造厂商独立提供给航空公司的,因此发动机制造厂商同样需构建完善的运行支持体系以持续保障发动机投入使用后的运行安全。此外,其它与发动机运行支持相关法规包括CCAR33部33.4、33.5条款,CCAR121部、145部、147部等。安全稳定的运行是航空公司首要关注的事项,由于发动机故障造成的飞机延误或停场甚至事故将造成巨大损失。因此,发动机主制造商必须尽早建立相应的运行支持体系以确保发动机产品符合TC取证和后续持续安全运行的要求。

1 问题与挑战

中国民用航空发动机的自主研发起步较晚,缺乏从全寿命周期的视角对产品进行全盘考虑、系统设计的经验,存在"重科研生产,轻运行使用"的问题,尤其在产品投入使用后的技术支持、运行监控、航材保障、维修大修、技术出版物、培训等领域,技术基础更显薄弱,相关的业务流程、标准规范、技术储备几乎空白。缺乏完备有效的民用航空发动机运行支持体系已成为制约国产民用航空器发展的瓶颈问题。

而民用航空发动机运行支持体系的建立与实施也面临诸多挑战。首先,运行支持体系的建立不是独立的,其与产品设计保证体系、制造保证体系紧密相关。比如,发动机运行支持保障过程中所需提供的航线检查、在翼维护、运行监控与故障诊断等服务保障内容,均需在产品研发的早期设计阶段考虑,需通过设计保证体系予以落实。而目前中国民用航空发动机设计和制造保证体系的建设刚刚起步,缺乏前续型号的经验积淀,同样处于边摸索边建设的境况。这为运行支持体系的建设带来更多不确定因素;其次,国内与民用航空发动机运行支持体系架构设计与建设相关的研究几乎空白,也没有可以借鉴的成功产品型号经验。运行支持体系的总体架构、包含的业务内容、业务组合以及开展各类业务的方式均需要逐一研究明确;再次,目前缺乏民用航空发动机运行支持体系建设和未来运转所需的相关行业标准与规范,而这无疑将影响到体系运转的一致性、规范性,为发动机持续适航带来诸多挑战;此外,民用航空发动机运行支持体系的建立涉及到诸多核心服务产品开发,如发动机高附加值部件的修理工艺、运行监控与视情维修等,这些服务产品的开发需要有完备的发动机运行支持基础技术支撑,而目前尚未有清晰的发动机服务产品技术路线图;最后,民用航空发动机运行支持体系的建立离不开相应的资源保障,如运行支持体系所需的信息化IT架构、基础设施、设备工具、人力资源与组织架构等均需要研究和明确。以上问题与挑战,对于既没有经验也没有国内类似参考的新兴企业来说无疑是非常困难的。

2 标杆企业分析

目前,全球大型航空发动机市场主要由GE、RR、PW公司以及它们的合资企业垄断。因此,研究这些企业的运行支持体系将有助于国产民用航空发动机运行体系的顶层架构设计。国际主流发动机制造商的运行体系虽各有特点,但通过数十年客户服务经验的累积和相互竞争,已经基本划定了国际民用航空发动机主流服务产品和业务内容,同时又根据各自的特点和能力特长发展出了部分有特色的特殊服务项目。其中,主流民用航空发动机运行支持体系(发动机运行支持工作的核心是围绕发动机维护、维修与航材保障等开展的各种售后服务,因此国外主流发动机厂商也习惯称之为"售后服务"或"维修服务"体系)所包含的的业务内容与业务组合主要为6个方向:客户支援、工程技术、技术出版物、航材支援、培训和大修/维修,具体内容如下[4-5]:

(1)客户支援。

拥有遍布全球的客户支援网络,包括7×24 h客户服务中心、客户服务经理和现场代表;通过客户服务网站提供各种在线服务;根据客户需求提供发动机租赁服务等。

(2)工程技术。

通过先进的数据收集和分析系统提供发动机监控、故障诊断和机队管理服务;提供在翼维修支援,包括飞机停场(Aircraft On the Ground,AOG)支援;开发并提供维护维修工具。

(3)技术出版物。

提供各种格式的技术出版物以及相关技术资料和数据,并定期维护更新。

(4)航材支援。

提供新件、旧件、产品升级套装,以及航材租赁、回购等服务。

(5)培训。

建立广泛的客户培训网络,针对客户需求提供多层级、多种培训项目选择。

(6)大修 / 维修。

建立并管理维护、修理和大修 (Maintenance, Repair&Overhaul,MRO)网络,提供发动机大修、零部件修理和附件维修服务。

此外,按飞行小时收费的定制化的综合性服务包已经成为上述 4 大国际主流发动机制造商的共同选择, 如 GE 公司的 OnPoint 和 TrueChoice,RR 公司的 TotalCare(如图 1 所示),Snecama 公司的 CFM Service 等。特色服务项目包括:GE 公司的质量技术检查,RR 公司品种丰富的金融服务,PW 公司的燃油消耗优化解决方案(EcoFlight™),Snecma 公司的发动机报废处理服务等。

Foundation Services	TotalCare Core	TotalCare Options
Aeromanager IP Recommendation Technical data service Customer support Access to: Training Spare parts Spare engine pool Tooling purchase	Overhaul Services Engine reliability improvement EHM EMP Specialist line maintenance TotalCare services integration	Transportation Time-expired life-limited parts LRU management Spare engine services Technical records services Powerplant Engineering Services

图 1　RR 公司 TotalCare 服务内容

3　运行体系架构设计方法

3.1　以系统工程方法构建运行支持体系

民用航空发动机运行支持体系的构建需与产品的设计研发与生产制造过程紧密结合,且要按系统工程的思路从产品研制初期就介入,并贯穿整个产品研制过程。按照系统工程方法构建的典型民用航空发动机产品的设计研发 V 模型如图 2 所示。从图中可见,按照系统工程方法[7]进行产品研发时,在研发的最开始(V 模型的最左端,即建立需求架构的阶段)就需同步将服务产品的开发需求(绿实线部分)与实物系统开发需求一同定义,而后随着产品功能架构的分解将需求分配给各子专业予以落实并进行相应的产品开发与生产制造;而在 V 模型的右端,服务产品与实物产品需同步验证与确认;在产品交付后(V 模型最右端), 产品的服务提供与生产提供也需结合在一起进行,并将发动机服役过程中的问题及时反馈给研发端进行优化与改进。

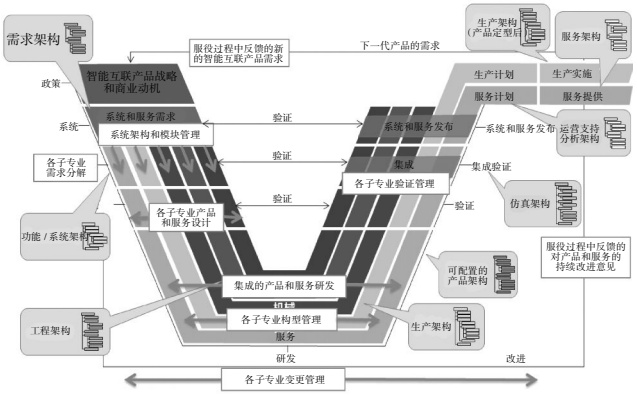

图 2　典型的民用航空发动机研发 V 模型

按照系统工程思路进行服务产品开发及与之相匹配的运行支持体系构建有 2 点好处:(1) 可以确保在产品设计上充分考虑运行的需求,包括符合运行规章要求、适合预期的使用环境、能有效控制使用和维修成本等;(2) 可以确保在产品全寿命周期内将运行支持体系与设计、制造体系紧密结合,同步开展实物产品与服务产品的需求定义、开发迭代与持续改进,使运行支持体系可与设计、制造体系一同随着产品的研发过程成熟完善,部分解决因设计、制造体系不成熟给运行支持体系建设所带来的不确定性因素。

3.2　以业务流程为核心构建运行支持体系

民用航空发动机运行支持体系包含业务流程、标准规范、基础技术、信息化 IT 架构、基础设施、设备工具、人力资源与组织架构等多维度的诸多要素,这些要素之间又存在关联关系,本文以发动机运行支持业务流程为核心,应用 IDEFO 流程建模框图工具,将这些要素进行逻辑关联和架构重构。以业务流程为核心的民用航空发动机运行支持体系构建如图 3 所示。

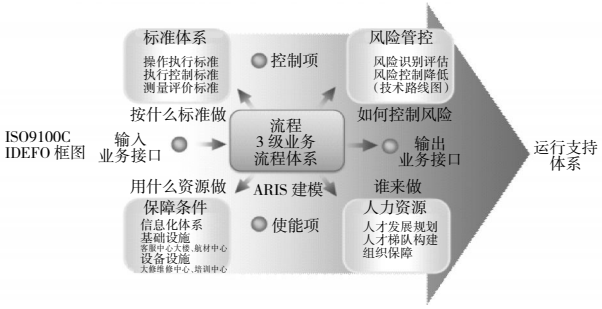

图 3　以流程为核心的民用航空发动机运行支持体系构建

运行支持体系的核心是支撑其开展各项业务工作的流程,通过梳理业务流程活动、使能项、控制项以及输入输出接口关系，就可以系统地将相关标准、需要攻克的技术难点以及流程实施所需的软硬件资源条件梳理清楚并进行关联。比如,在某一级流程的建设中,为使流程能够按照统一的要求规范地执行并达到预期目标,就需有流程执行操作的标准、控制标准以及测量标准;为建立流程执行中所需的方法或技术方案，就需要进行技术风险评估并开展技术攻关;为保障流程能够高效执行,就需要梳理该流程执行中所需的基础设施、信息化工具、设备工具;而流程是由人来执行和完成的,这就需要梳理流程执行所需的人力资源以及相应的技能水平，当需要大量多个专业、不同层级的专业人员时,就需要考虑相应的组织架构设计。这仅仅是从“微观”视角针对某一级单一流程的梳理,当所有这些要素按照各自属性、业务架构进行归集整合时,就形成了保证民用航空发动机运行支持体系稳定高效运转所需的流程架构、标准架构、技术研究架构、信息化 IT 架构、资源保障体系、人力及组织架构等,从而形成民用航空发动机运行支持体系的整体蓝图。

4 运行支持体系架构设计

4.1 总体业务架构

基于上文所述的运行支持体系构建思路,通过对国际标杆企业的分析研究,初步构建民用航空发动机运行支持体系总体业务架构,如图 4 所示。

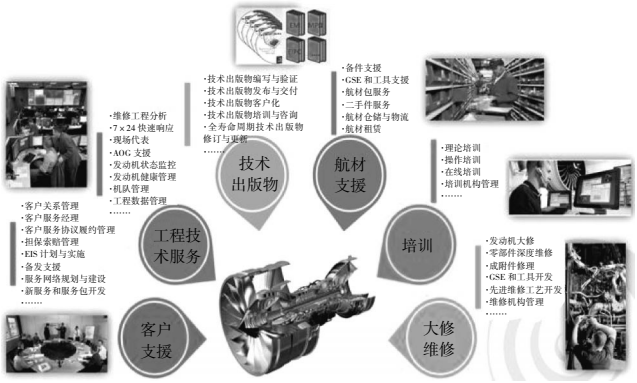

图 4 民用航空发动机运行支持体系总体业务架构

运行支持体系包括 6 个业务板块,分别是:客户支援、工程技术、技术出版物、航材支援、培训、大修 / 维修,各板块的主要业务内容如下:

(1)客户支援:建立并维护良好的客户关系,根据客户不同需求,开发一站式服务计划,向客户提供各种优质的服务或服务组合包,以及超越客户预期的定制化、一体化解决方案;调配整合企业内外各类资源,构建发动机运行支持网络，形成全球化的客户服务能力;设定服务产品商务模式,核算各项服务产品成本与定价,树立具有企业特色的发动机客户服务产品品牌。

工程技术:在产品研发过程中,负责构建发动机产品维修工程分析体系,制定产品维修计划和维修方案,梳理维修资源需求,提供故障解决方案,开发维修工具与地面支援(Ground Support Equipment,GSE)设备,进行维修方案验证;在产品服役过程中,为客户提供发动机运行支持所需的工程技术支援，包括维修技术指导、7×24 h 快速响应、AOG 支援、发动机运行监控、热点问题报告、机队可靠性监控等,并向发动机研发方提供产品改进设计建议、维修成本分析结果等。

技术出版物：负责产品技术出版物的开发与维护,为客户提供满足适航要求和发动机运行使用要求的技术出版物，主要内容包括技术出版物的编制、验证、交付、维护与构型管理等。

航材支援:负责发动机航材支援服务产品设计与开发,及时向客户提供运行所必需的航材,构建航材支援服务网络,不断优化航材支援商务模式。

培训：负责发动机培训类服务产品设计开发,为客户提供高质量、客户化的各类发动机培训,使客户可以按照技术出版物进行产品的日常使用和维护。

大修 / 维修:是发动机运行支持体系的核心业务点之一,负责为客户提供大修维修服务,并根据客户需要构建 MRO 网络。

4.2 流程架构

根据上述运行支持体系总体业务架构,构建民用航空发动机运行支持体系流程架构,如图 5 所示。流

图 5 民用航空发动机运行支持体系流程架构

程架构分为 3 个层级,第 1 层级为业务级,包含客户支援、工程技术等所有 6 个业务板块;第 2 层级为业务组,由每个业务板块根据业务类别进一步细分而成,整个运行支持体系共有 22 个业务组;第 3 层级为流程级,为各业务组所包含的各项业务,再细分为若干可执行流程。

其中客户支援业务板块包括客户管理、客户支持、市场和销售支援、增值服务 4 个业务组;工程技术业务板块包括工程数据管理、维修工程分析、技术支持、维修技术需求分析 4 个业务组;技术出版物业务板块包括源数据分析、技术出版物编写与发布、技术出版物交付、技术出版物体系建设 4 个业务组;航材支援业务板块包括航材服务管理、采购与供应商管理、物流与仓储管理、旧件翻新管理 4 个业务组;培训业务板块包括培训网络建设、培训教学管理、培训服务支持、教学支持管理 4 个业务组;大修维修业务板块包括大修维修业务、大修维修服务供应网络管理 2 个业务组。

4.3　标准架构

根据业务板块和流程架构,并参考欧洲航空航天设备制造商协会(Association Europeene des Constructerurs de Materriel Aerospatial , AECMA)的 S 系列标准(如图 6 所示)以及美国航空运输协会(Air Transport Association,ATA)相关标准,设计民用航空发动机运行支持体系标准架构,如图 7 所示。共计包含客户支援、工程技术、技术出版物、航材支援、培训以及大修 / 维修 6 类标准子体系。

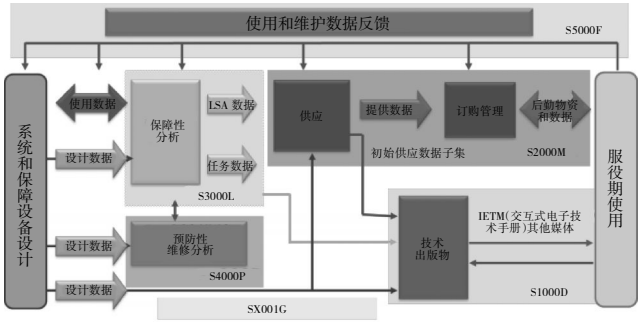

图 6　S 系列标准体系架构

其中与工程技术和大修 / 维修紧密相关的维修工程分析类标准,主要参考 S3000L[8]、S4000P[9]制定;技术出版物标准主要参考 S1000D [10] 与 ATA2200[11]、ATA2300[12]制定;航材支援主要参考 S2000M[13]制定;使用数据和维护数据反馈主要参考 S5000F[14];培训主要参考 S6000T(待发正式发布);运行支持领域的术语规范参考 SX001G[15]。

图 7　民用航空发动机运行标准体系架构

4.4　信息化架构

根据业务与流程架构,以高效服务客户、高效协同供应商、高效管理业务为目标,构建运行支持体系信息化顶层架构,如图 8 所示。共分技术架构、数据架构与应用架构 3 个层级。其中技术架构层主要为支撑各类信息化平台运行的信息技术,主要包括大数据处理与存储、互联网 + 技术、虚拟现实增强等;数据架构层主要是运行支持体系运转所需的各种类别数据的管理,如工程研发数据、发动机运行数据等;应用架构层主要是支撑各主要业务模块和业务流程运行的信息化平台与工具,如维修工程分析平台、技术出版物编制平台、培训平台等,以及与客户交互的门户系统,与飞机制造商、供应商、适航机构沟通的协同平台等。

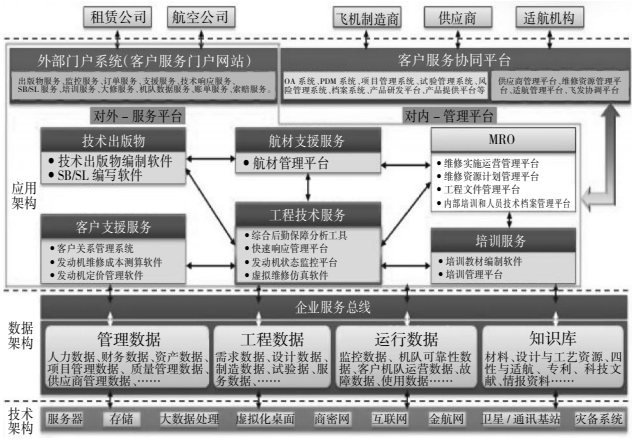

图 8　民用航空发动机运行支持体系信息化架构

4.5 技术研究架构

上文所述的业务流程、维修方案、技术标准、信息化平台等业务架构的构建均需相应的技术储备支撑。根据运行支持体系建设和服务产品开发的需求将这些技术研究进行整体安排与系统筹划，形成民用航空发动机运行支持体系的技术研究架构（即技术攻关路线图），如图 9 所示。在架构设计中，首先按照系统工程方法将需求逐级向下分解，然后根据各层级需求梳理出需攻关的关键技术，而后根据各关键技术与服务产品研发、业务模块建设的支撑关系进行分类，再根据关键技术互相之间的内在支撑关系将各关键技术进行逻辑关联，最终形成较为完整的技术研究架构。

以上运行支持体系所包含的的各类业务架构内容，需要大量的研制保障条件和服务工程人员，并辅以相应的组织保障，而这些需要根据发动机主制造商的企业架构与业务模式进行设计，限于篇幅，本文不再详述。

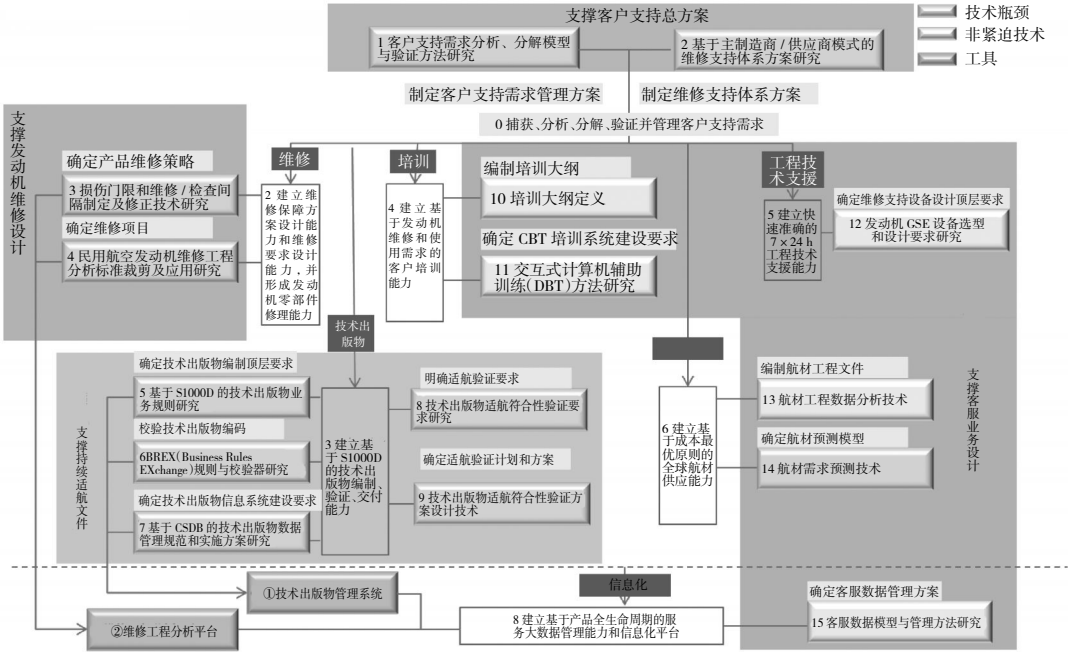

图 9 民用航空发动机运行支持体系技术研究架构

5 总结

民用航空发动机运行支持体系是市场选择与适航安全要求的必然结果，“适航决定准入，市场决定生死”。本文通过剖析中国民用航空发动机运行支持体系建设所面临的问题，对国际主流标杆企业开展研究，并参考相关国际规范，初步构建中国民用航空发动机运行支持体系总体架构，总结如下：

（1）采用系统工程方法进行民用航空发动机运行支持体系设计，可以有效地将运行支持体系与设计、制造保证体系结合，并减少体系建设过程中的不确定因素；

（2）民用航空发动机运行支持体系需包括总体业务架构、流程架构、标准架构、信息化架构、技术研究架构以及保障其建设的研制保障条件、人力资源与组织架构等核心要素，采用流程建模方法进行体系设计，可以有效地将各要素逻辑关联与整合重构；

（3）民用航空发动机运行支持体系总体业务包括客户支援、工程技术、技术出版物、航材支援、培训与大修 / 维修 6 个主要业务模块，可涵盖目前国际主流发动机客户服务业务的全部内容；

（4）运行支持体系的流程架构分为 3 级，包含服务产品开发与运行支持相关的 6 个业务板块、22 个流程组以及若干可执行流程，而相应的标准体系架构、流程信息化架构、技术研究架构均根据业务板块和流程框架进行设计。

参考文献：

[1] 王翔宇. 民用航空发动机维修市场特点探析 [J]. 航空动力，2018（3）：59-62.

WANG Xiangyu. Analysis of civil aero-engine market characteristics, Aerospace Power[J]. 2018(3):59-62.(in Chinese)

[2] 金中平. 服务伴随发动机终身 [J]. 航空工业经济研究,2008(5):13-14.
JIN Zhongping. Service: Accompany with aero-engine for all life-cycle [J]. Economic Research of the Aviation Industry, 2008 (5):13-14. (in Chinese)

[3] 徐兵.CFM56 发动机售后服务市场未来依然蓬勃[J].航空维修与工程,2017(6):29-30.
XU Bing. CFM56 aftermarket assessment:strong prospects ahead [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2017(6):29-30. (in Chinese)

[4] 孙立. 发动机维修服务的现状与未来 [J]. 航空维修与工程,2011(2):29-31.
SUN Li. The Present and future of total care [J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2011(2):29-31. (in Chinese)

[5] 蓝楠. 发动机 OEM 力推自有服务品牌深耕售后服务市场[J].航空维修与工程,2016(6):18-19.
LAN Nan. Engine OEMs attract customer through pushing its own aftermarket solution[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2016(6):18-19. (in Chinese)

[6] 中国民用航空局.MD-FS-AEG006 航空器制造厂家运行支持体系建设规范[S]. 北京:中国民用航空局飞行标准司,2014:1-34.
China Civil Aviation Administration.MD-FS-AEG006 Guidance of aerospace OEM product support system construction [S]. Beijing:China Civil Aviation Administration Flight Standards Division,2014:1-34. (in Chinese)

[7] 国际系统工程学会.系统工程手册[M]. 张新国译. 北京:机械工业出版社,2014:56-58.
Internal Council on System Engineering wrote. System engineering handbook [M]. ZHANG Xinguo translated. Beijing: China Machine Press, 2014:56-58. (in Chinese)

[8] Aerospace and Defense Industries Association of Europe. S3000L: International procedure specification for logistics support analysis [S]. Issue 1.1. Sweden: Aerospace and Defense Industries Association of Europe, 2014: 1-618.

[9] Aerospace and Defense Industries Association of Europe. S4000P: International specification for developing and continuously improving preventive maintenance[S]. Issue 1.0. Sweden: Aerospace and Defense Industries Association of Europe, 2014:1-161.

[10] Aerospace and Defense Industries Association of Europe. S1000D: International specification for technical publications [S]. Issue 4.1. Sweden: Aerospace and Defense Industries Association of Europe, Aerospace Industries Association, Air Transport Association, 2012: 1-3547.

[11] Air Transport Association. ATA Spec 2200: Information standard for aviation maintenance [S]. USA: Air Transport Association, 2002: 1-7402.

[12] Air Transport Association. ATA Spec 2300: Data exchange standard for flight operations[S]. USA:Air Transport Association, 2002:1-548.

[13] Aerospace and Defense Industries Association of Europe. S2000M: International specification for material management [S]. Issue 6.0. Sweden: Aerospace and Defense Industries Association of Europe, 2015:1-738.

[14] Aerospace and Defense Industries Association of Europe. S5000F: International specification for operational and maintenance data feedback [S]. Issue 1.0. Sweden: Aerospace and Defense Industries Association of Europe, 2016:1-241.

[15] Aerospace and Defense Industries Association of Europe. SX001G: Glossary for the S-Series ILS specifications [S]. Issue 1.1. Aerospace and Defense Industries Association of Europe, 2015:1-94.

(编辑:李华文)