

# 商用航空发动机产品研发体系中台研究与探索

## Research and Exploration of Middle-Platform for Commercial Aero Engine Product Research and Development System

■ 张卫善 方隼 黄博 王文耀 杨博文 王惠 王丽 / 中国航发商发

航空发动机产品研发体系的层次和结构关系复杂，要素应用过程差异性大，信息化支撑环境异构性强，通过传统方法获得足够完整和准确的信息挑战极大。在此情况下，利用中台技术抽取体系要素建、用状态信息，以多视图方式透视体系全景，感知体系运行，带动体系全局优化和系统提升。

中国航发商发的产品研发体系已具备一定规模，被广泛用来指导、支撑和规范产品研发过程。随着研究的深入和认知的提高，流程架构在改进优化，体系要素在成熟完善，要素之间耦合关系日趋复杂，给体系管理工作带来的挑战持续增加，如图1所示。随着型号研发全面进入试制和试验验证阶段，过程中暴露的设计问题、试制和装配问题、试验和测试问题等，都会直接反映研发体系要素的缺陷与不足，试制和试验也会成为体系要素成熟度评估的直接证据。此外，随着公司管理机制日益成熟，研发体系要素管理从单点、局部管理模式，向要素生命周期管理和全局管理过渡，亟待借助数字化手段保障体系建设和应用的系统性、连续性。要确保体系建设及时正确决策和高效精确执行，就要求能够在统一视图下及时准确地感知宏观、中观和微观各层面的体系建设及应用的情况，促使公司各层级体系工作者在决策和执行中做到上下对齐拉通，左右协同一致。在这种背景下，构建一套在统一逻辑架构下的体系建、用全景透视和应用监测系统尤为关键。



图1 产品研发体系要素及其关系

### 商发研发体系中台概况

中国航发商发的研发体系中台是在中国航发集团AEOS产品研发体系框架下对体系全景的一次探索和实践。中台概念来源于互联网行业，一般是搭建一个灵活、快速应对变化的架构，快速响应前端需求，避免重复建设，提高重用共享能力。利用中台技术将研发过程的质量、周期和成本等信息与支撑过程的体系要素对象进行综合，支撑产品研发局部和整体的不同层次的体系要素成效分析与评价。研发体系中台主要包括如下功能：可以透视逻辑，明

晰研发体系要素与要素之间的关系；能够感知状态，精准描述要素建设、使用状态；辅助管理决策，支持体系工作者从不同层级问题定位、协调联动、精准发力；推进全局优化，通过共享协同和线上迭代，带动体系系统建设和整体提高。

### 体系中台透视体系全景 体系全景透视基本原理

为支撑对体系全景的透视管理，对推进系统产品架构分解，各业务领域研制过程的开发活动和体系要素通过一定的逻辑关系整合起来，

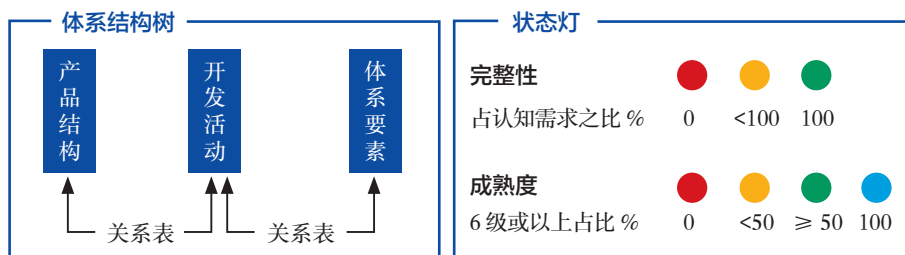


图2 体系结构树及状态灯示意

通过逐层分解和节点挂载方式构建出体系结构树。体系结构树由产品分解结构（PBS）、产品开发活动分解（WBS）和研发体系要素3部分组成。其中，PBS是指按照推进系统级、产品系统级、部件与子系统级逐层对产品结构分解，明确产品结构分解的树形结构；WBS是指在产品架构分解最末端有与之对应的研制活动，基于不同层级构建出活动分解的树形结构。

体系中台在一套关系数据下建立研发流程与支撑要素逻辑视图和体系结构树逻辑视图，支持“广角镜头”方式透视体系全景。研发流程与支撑要素视图可直观感受流程各层级的逻辑耦合关系，感知产品不同层级在需求、设计、制造集成和

试验验证过程需要的全部要素及其即时状态；体系结构树视图配合状态灯，透视体系要素逻辑关系，直观感知每个节点要素完整性和成熟度情况，如图2所示。体系中台可通过导入和界面操作等方式支撑快速建立体系结构树；具备节点筛选、收放、要素分类统计等基本功能；可配置产品结构节点各层级管理者，通过“分责到节点”，确保体系融入组织，层层压实责任。

体系结构树在产品架构分解节点和开发活动节点上设置状态灯，呈现体系建设的完整性和成熟度状态。亮红灯的节点意味着这里体系能力问题严重，需要决策者采取及时行动，改变现状；亮绿灯的节点相当于完整性和成熟度满足型号基

本要求。具体来讲，完整性的绿色表示解决所需的100%，即解决了有无问题；红色表示所需的要素是100%缺失；橙色表示不完整。把体系结构树切换到成熟度视图，便可直观地感知每个节点的成熟度状态，节点颜色体现不同成熟度比例。以指导书为例，如果节点所属的指导书为6级或以上达到100%，状态灯为绿色，这个比例是50%及以上为蓝色，50%以下为橙色，占比为0的为红色。

### 体系全景透视技术架构

体系中台技术架构，借鉴了软件服务化（SaaS）与中台架构思想，主要分中台层、应用层和表现层，如图3所示。中台层以体系结构树为核心，打通体系要素关系链，通过通用技术组件获取异构系统数据源，确保在唯一数据源下业务全局可视可管，构建体系能力共享服务中心；应用层根据业务逻辑不同，支持开展决策管理，数据维护管理，过程数据管理；表现层主要通过HTML5、Flutter界面构建工具包提供桌面端和移动端可视管理页面。在中台开

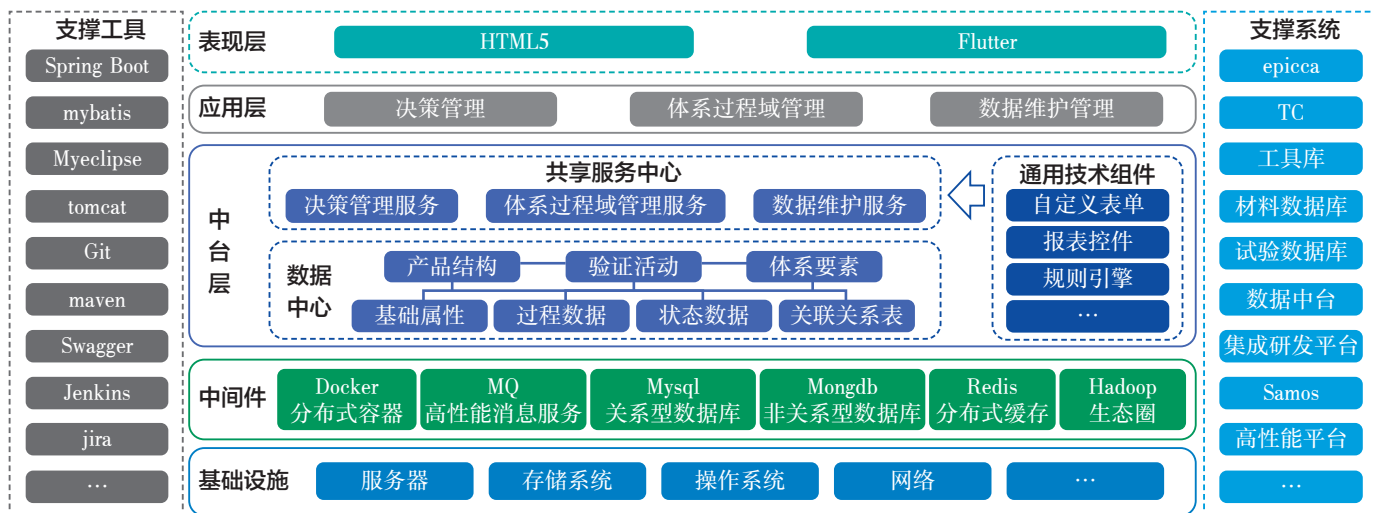


图3 研发体系中台技术架构原理示意

发实现上，采用如Spring Boot等敏捷开发工具集，采用如MQ、Redis等中间件，确保技术框架灵活稳定，快速响应业务变化。

## 体系中台支撑体系要素生命周期

### 体系要素生命周期管理

体系要素是沉淀知识经验、工具方法、标准规范的核心载体，是面向航空发动机具体设计活动和特定应用场景的关键使能资源。研发体系建设中最基本的单元是体系要素，对要素开展生命周期管理是体系能力提升的核心抓手。为确保体系要素“建所用、用所建”，构建体系要素从规划—建设—沉淀—应用—改进的生命周期进行闭环管理，如图4所示。在规划阶段，体系要素

主要是基于公司技术研究和型号规划提前布局，结合成熟度评估结果进行策划；根据不同的成熟度，通过型号基础研究、关键技术攻关和体系攻关等项目开展体系要素提升；完成建设后，按要素管理要求完成入库，只有在库要素才允许在型号中采用，才可以开展流程级或平台级的集成应用。在型号应用中持续开展完整性和成熟度评价，收集提升需求，按需纳入成熟度提升策划和建设规划中，从而形成体系要素管理提升闭环。

### 体系要素成熟度管理

研发体系要素成熟度是研发体系持续建设的核心标尺之一，其等级的高低与产品研发的风险高低有直接的关系。公司对工作指导书等体系要素建立一套成熟度评价方法

和流程，用于指导设计方法的系统改进和提升。如工作指导书制订9级成熟度等级定义，分类确定每级详细评价细则，每年按照成熟度评价程序由设计部门自评，公司层面组织专家组对自评结果进行评审，各部门依据最终的成熟度等级制订下一年的等级目标，并综合各类资源分析，形成成熟度提升策划报告，纳入到体系要素提升规划中。通过要素持续提升与沉淀，使得体系的“土壤”越来越肥沃，才会在型号研发活动中发挥更关键、更核心作用。

### 体系要素生命周期管理

体系要素生命周期管理是一个持续规划、持续建设、持续集成、持续完善的过程，技术架构设计的重点是要保证体系要素生命周期过程状态清晰，组织有序，同时要保

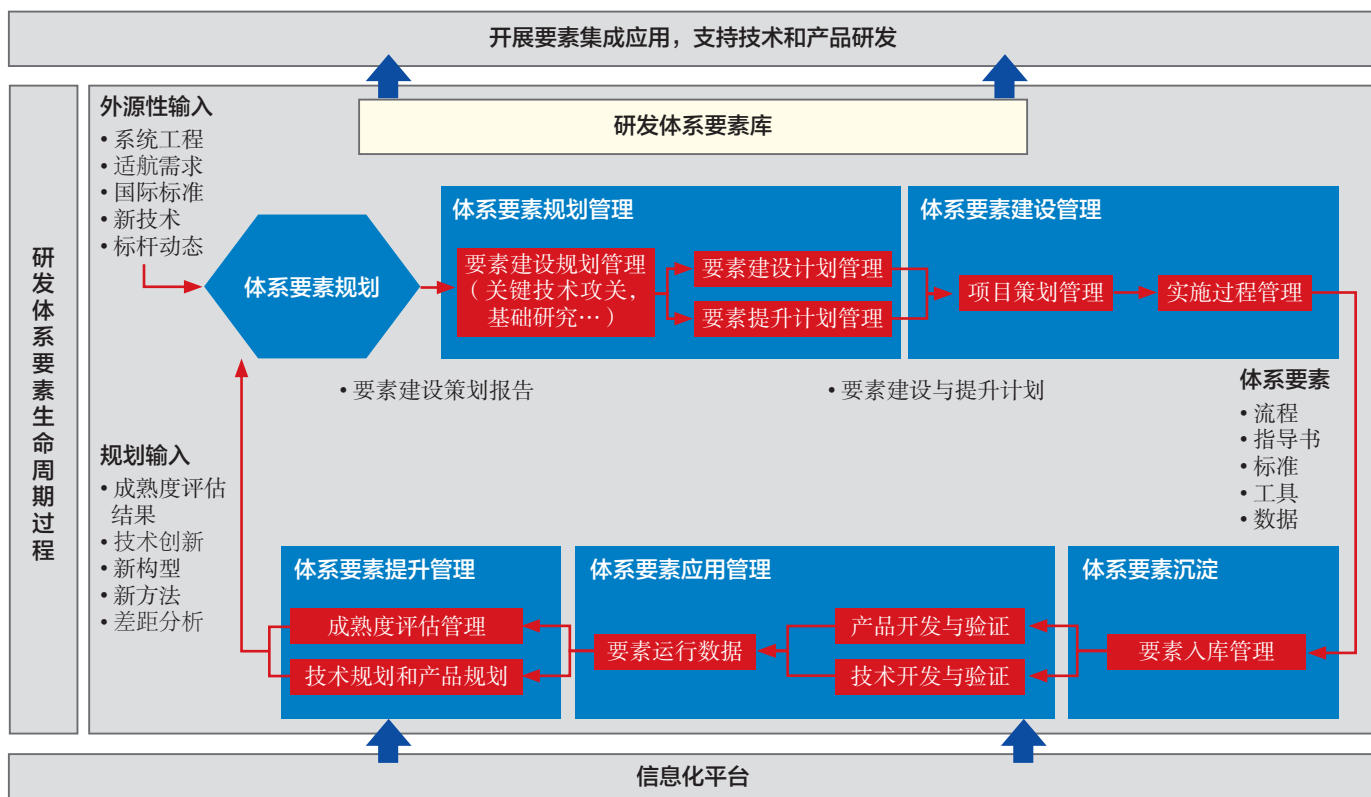


图4 研发体系要素生命周期业务视图

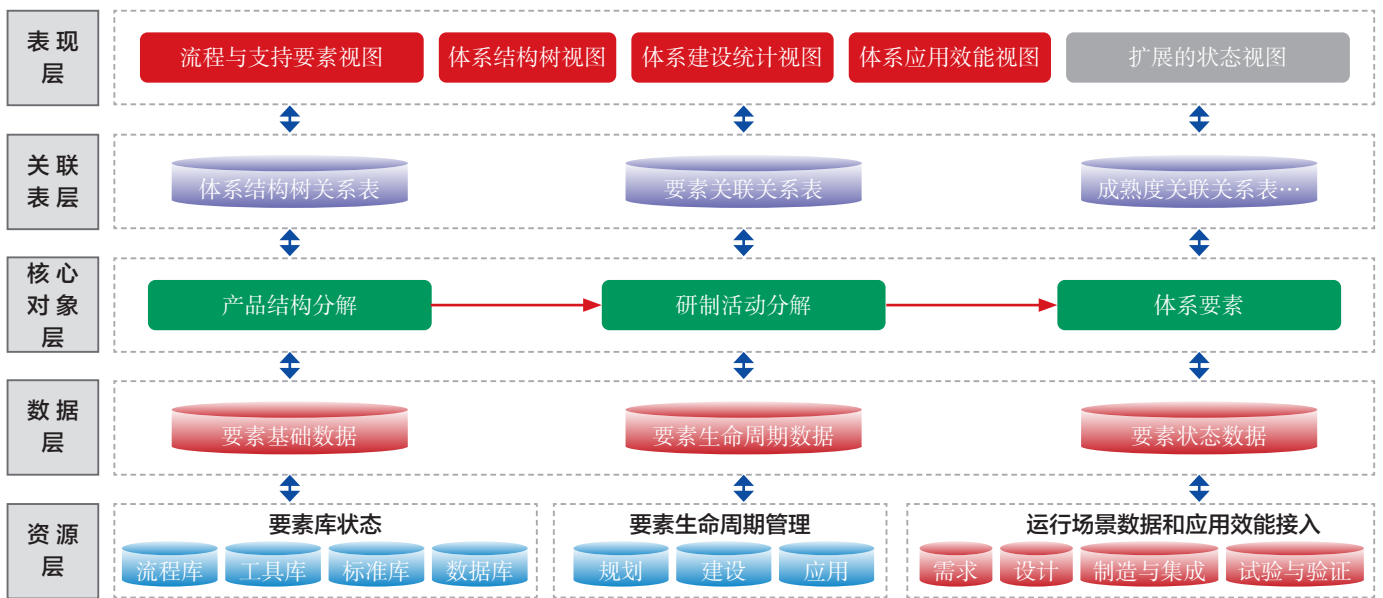


图5 体系要素生命周期管理技术架构示意

证框架的灵活性和扩展性，具备快速数据获取和应用创新能力。体系要素生命周期管理技术架构设计思路是以体系结构树为核心，把体系结构树组成中的研制活动、体系要素作为独立的核心数据对象，如图5所示。核心数据对象向下对接要素库（流程库、标准库、工具库和工程数据库），获取各要素对象的多维度属性信息，包括基础数据信息（对

象名称、编号、密级、入库的相关信息等）、生命周期过程数据（要素生命周期管理的过程数据信息）、状态数据（运行场景和应用效能数据）和集成拉通对象全量数据。向上以全景透视视图为驱动，抽取对象属性信息构建支撑视图的关联关系表。整体技术架构的核心是对象和关联关系分离，通过这种方式满足未来持续扩展的管理视图需求。

体系中台汇聚、集成、拉通要素生命周期过程数据，构建多维度的要素闭环管理全景视图，如图6所示。支持开展要素不同环节的整体管理和协同管理，比如查看建设规划新增要素是否齐全，有建设规划的要素是否已进入项目实施建设，建设完成的要素是否都已经入库，入库的要素是否有实际的应用，已应用的要素带来的实际成果和问题等。体系中台编织一张体系要素管理网，覆盖研发体系管理的各个环节，全面感知要素建用状态，真正实现“管得到”；通过对研发要素生命周期内各环节的有序衔接和协同，支撑关键路径识别和决策，推动精细化和规范化管理，真正实现“管得好”。

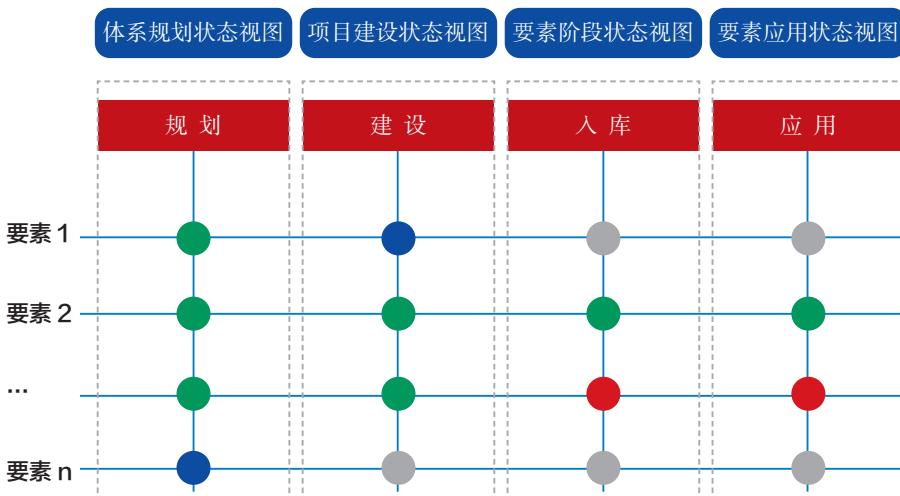


图6 研发体系要素多维度视图示意

### 体系中台感知体系应用成效 体系运行场景数据

研发体系要素作为研发活动使能资源，需要知道在型号科研中有没有使用，使用了哪些，使用得好

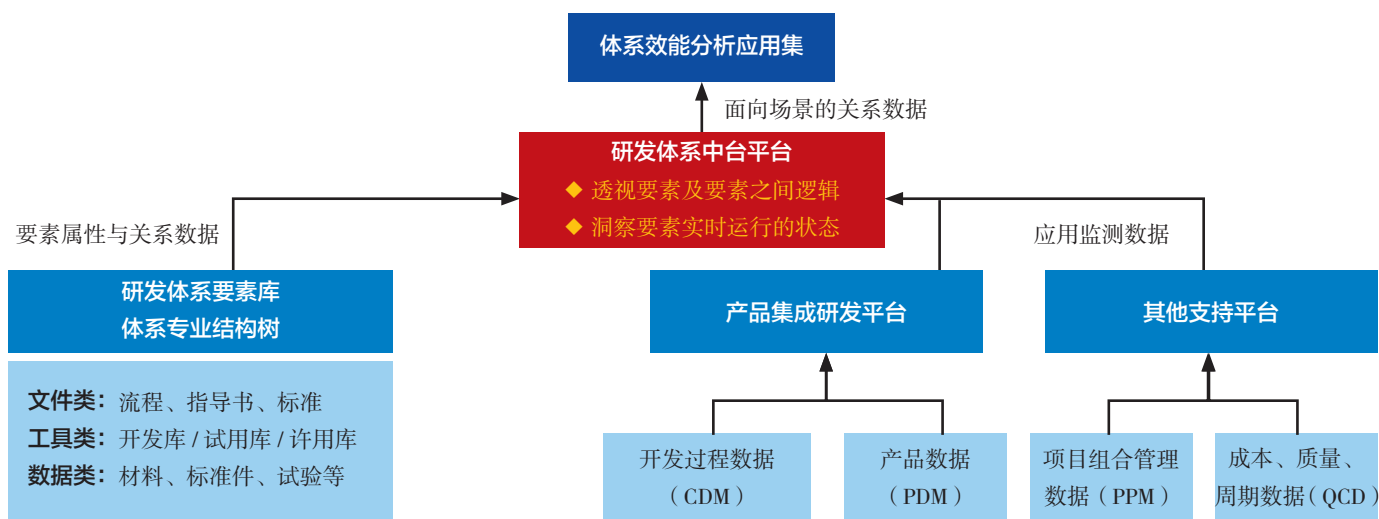


图7 体系运行场景数据获取示意

不好或者有没有问题，需要采用“微距镜头”感知要素运行状态。体系中台收集体系要素全量数据，从不同维度抽取对象属性信息构建关联关系表，支撑不同运行场景视图的呈现，如图7所示。例如，通过抽取集成研发平台的动态活动数据，感知流程模板、活动模板、工具模板的使用情况，包括模板使用活跃度及其分布特点、对应的型号任务、执行人员、活动周期、迭代次数、交付物等。其中，迭代次数高、数据等待时间长的，可能存在团队间的协调问题，活动周期延迟过长可能是技术瓶颈或者资源瓶颈的问题，各级管理者通过应用监测，可以即时感知问题和风险，及时采取应对措施；通过感知设计工具实时使用情况，及时获取和统计软件使用人数、使用时长，支持多维度柔性呈现；通过感知高性能平台和云桌面系统资源运行数据，及时对资源供需情况和健康状态做出判断。

### 体系应用效能分析

体系场景数据除了感知体系要素的应用状态，同时还采集产品型

号研发的各层级过程特征数据，包括质量（设计更改、超差、偏离）、周期、成本等数据，及其随任务、资源和时间的变化特点，建立要素与研发过程关系矩阵，支撑成效指数分析和评价诊断。宏观层面可以综合型号研发全过程的质量指数变化与体系要素状态的变化，支撑体系效能的综合评价和内因分析；在微观层面，可以综合设计中的更改数据和体系要素运行情况支撑具体设计环节要素的效能评价。例如，通过抽取中台的数据，统计体系要素在需求与设计、制造与集成、试验与验证过程的应用状态，如需求与设计过程关注需求条目数，设计方案及更改数；制造与集成过程关注的台份和批次数，给供应商提供的文件数，供应商试制交付状态等；试验与验证重点关注试验任务的实时应用状态，不同试验任务下的试验数据状态等。通过系统和数据集成分析，最终支撑对体系能力在产品研制过程从需求与设计—制造与集成—试验与验证的应用状态分析。

### 结束语

商发产品研发体系中台通过体系结构树构建体系要素与设计活动的关联，以场景为对象拉通体系建设；以产品为核心，通过要素与活动节点匹配，感知体系要素在研发过程的应用。通过中台与要素库和应用系统集成，做到体系建设和运行状态的全面显性化；通过实时数据汇集和分析，做到体系建设和运行过程的显性化，推动体系持续完善和系统提升。目前，商发产品研发体系中台已完成原型系统开发，初步具备全景感知和运行监测能力，未来体系中台要发挥枢纽和大脑作用，满足体系管理者、体系建设者、体系使用者不同场景需要，持续优化体系全景透视和运行感知能力，做好技术研究和产品开发衔接，支撑各类体系要素的有序沉淀，持续健全“颗粒归仓”和成熟度评价机制，实现建用互促的良性循环和演化升级，回答好产品研发体系“建得怎么样”和“用得怎么样”的问题。 **航空动力**

（张卫善，中国航发商发，副总设计师，主要从事系统工程和AEOS研发体系相关研究工作）