

中国航发集成研发系统建设方案概述

Development Scheme for Aero Engine Collaborative Design Management System

张彪 李嘉欣 于硕 汪腾 / 中国航发研究院

航空发动机是典型的复杂系统，其研制过程是多专业、长周期、高难度、高标准反复迭代的过程。构建航空发动机研发的跨区域协同研发体系，可以实现业务、流程、数据的协同，全面支持产品研发活动规范高效开展，支撑产品自主研发能力形成。

中国航发集成研发系统(CDM)，通过将AEOS研发体系中的业务、流程、标准、规范集成到信息化平台，打通单位、专业与系统的边界，实现数据的有序流动，从而实现产品设计过程的不断优化、持续提升，实现集团与各直属单位任务与流程的统一，实现产品研发过程的规范管控以及研制效率的提升。

建设内容

集成研发系统建设包含6方面的内容，如图1所示。

一是，落实集团AEOS产品研发体系。为了打破人员分散、资源无法共享等现状，通过信息化手段，建立线上虚拟团队，实现研发人才资源的自由调配以及跨地域、跨部门、跨专业的便捷协作研发。

二是，建设数字化研发流程体系。在梳理并优化现有的研发流程的基础上，编制体系化、结构化的研发流程模板，搭建满足真实研发业务需求、适于剪裁复用的数字化研发流程体系，用于提升航空发动机研发执行过程与跨专业间的协同效率；实现研发流程的统一、规范化、显性化，指导和约束研发活动。

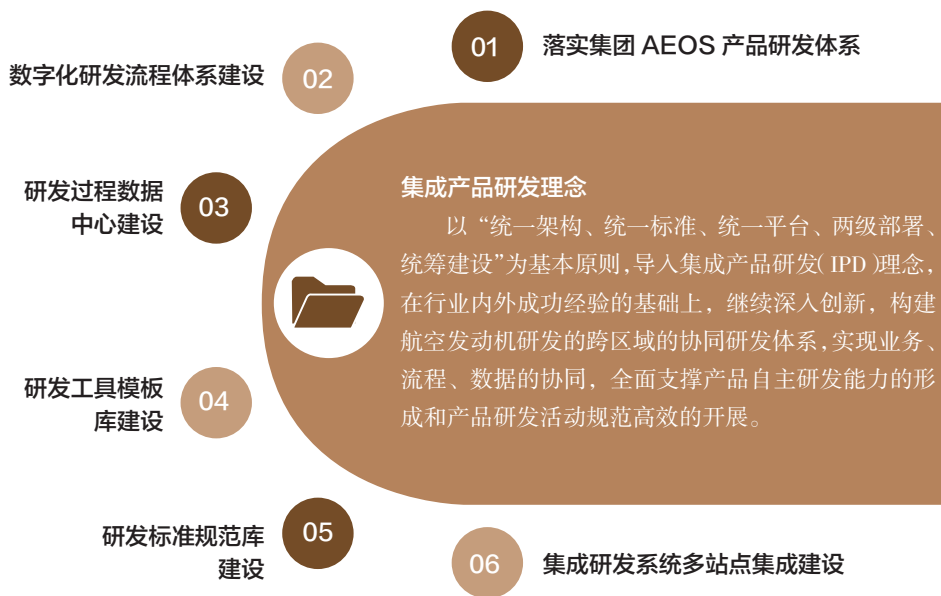


图1 6个方面建设内容

三是，建设研发过程数据中心。基于研发流程，搭建与之对应的研发过程数据中心，通过结构化、模型化的数据表达来记录项目研发过程中需求、设计、分析、仿真和验证数据的发展和变更历程，实现基于模型的研发协同，优化协同效率。

四是，建设研发工具模板库。通过定制开发、二次开发、封装集成等技术手段丰富研发软件工具体系，将航空发动机产品研发过程中沉淀的设计、分析、建模和仿真技

术嵌入工具，形成面向特定业务、特定专业的工具组件体系，打通工具间数据流动，提升工具使用效能，全面支持航空发动机产品快速设计与分析工作。

五是，建设研发标准规范库。构建面向航空发动机产品研发的各类知识数据库，集中存储各类文档、标准、规范等知识，与研发平台框架配合，实现知识的智能推送与在线积累，实现知识积累与应用的良好循环。

六是，建设集成研发系统的多

站点集成。通过该多站点集成机制，使得在应用层面中国航发以及各直属单位间如同一个整体，实现多站点间任务、流程、数据等研发要素的交互、共享。

总体方案

集成研发系统建设总体方案如图2所示。

系统定位

集成研发系统以航空发动机设计流程为主线，把航空发动机研发活动组织成有序的关联设计活动，提供一个集设计、仿真、优化等工具的一体化工作界面，实现设计流程与设计工具的整合，满足发动机总体、各部件（压气机、燃烧室、涡轮等）及系统（控制系统、机械系统、外部与短舱系统、空气系统等）

集成设计和分析；建立统一的航空发动机设计数据管理和应用环境，实现设计各阶段和迭代过程的数据追溯，显示从发动机总体到各部件、子系统的迭代过程。

系统应用范围

航空发动机集成研发系统覆盖航空发动机产品全生命周期的设计、仿真分析过程，支撑流畅的产品研发过程、高效的项目团队协作、跨系统跨组织的技术状态管理。

集成研发系统通过建立设计流程标准化、设计规范嵌入化、设计应用集成化的环境，支持知识驱动的创新性研发工作，促进系统功能和性能需求快速转化为物理方案，并进行高效的一致性评估。

集成研发系统的运行围绕研发任务和专业设计两个核心，以项目

工作分解结构（WBS）为输入，对项目计划进行逐级细分，形成航空发动机整机、部件/系统、零组件各专业设计流程。设计人员基于流程调用工具完成任务，将设计结果反馈给相关负责人进行审核。根据需要将设计过程中产生的设计报告和产品模型发送到产品数据管理系统中进行审签，最终将交付物和任务状态反馈给项目管理人员。在各专业设计流程执行过程中，根据流程中任务需要，获得相关的基础数据（如材料数据）、知识经验（如标准规范等）、试验数据、产品模型等，同时还会调用高性能计算等资源。

业务方案

研发任务管理

以压气机研发业务为例，集团

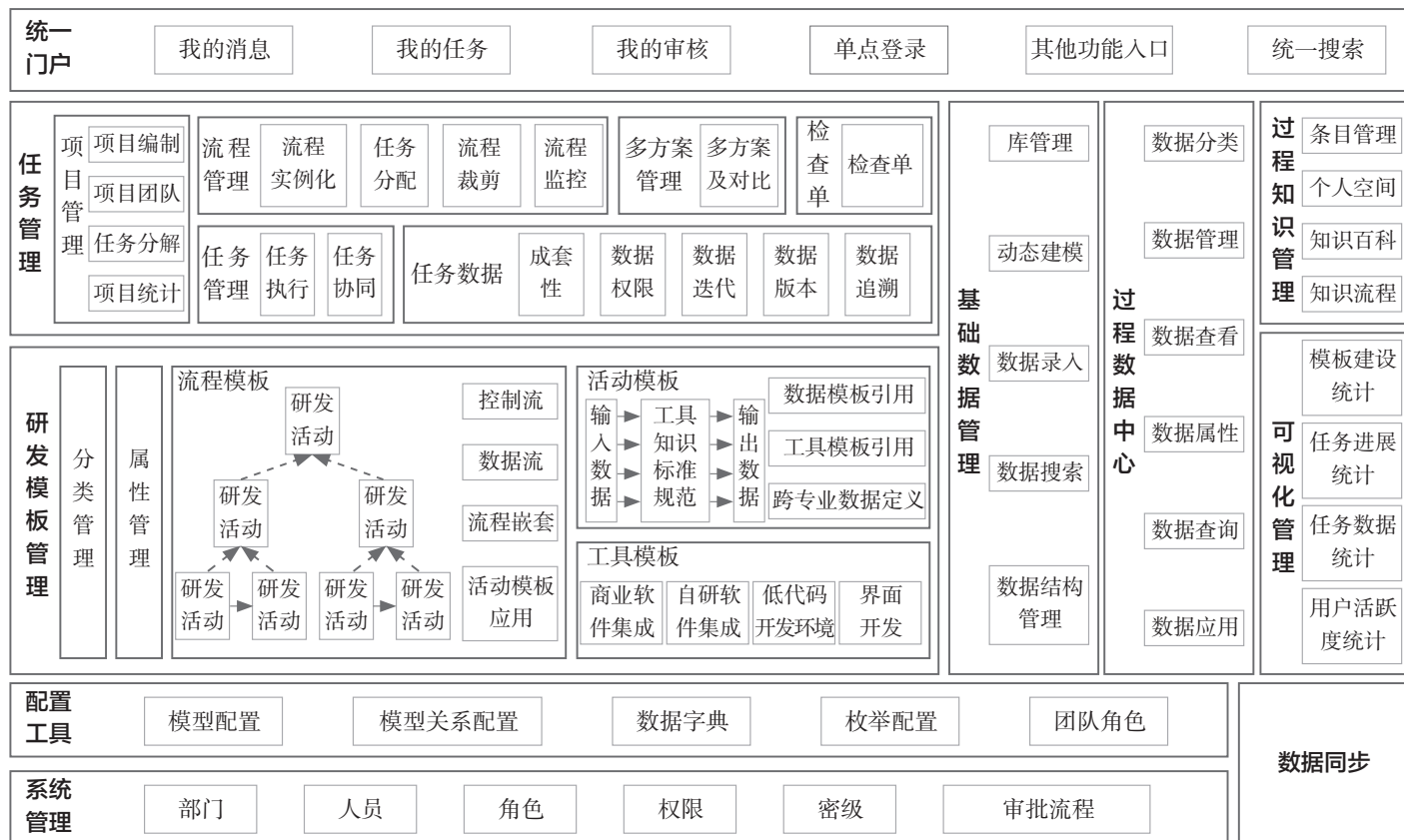


图2 集成研发系统建设总体方案

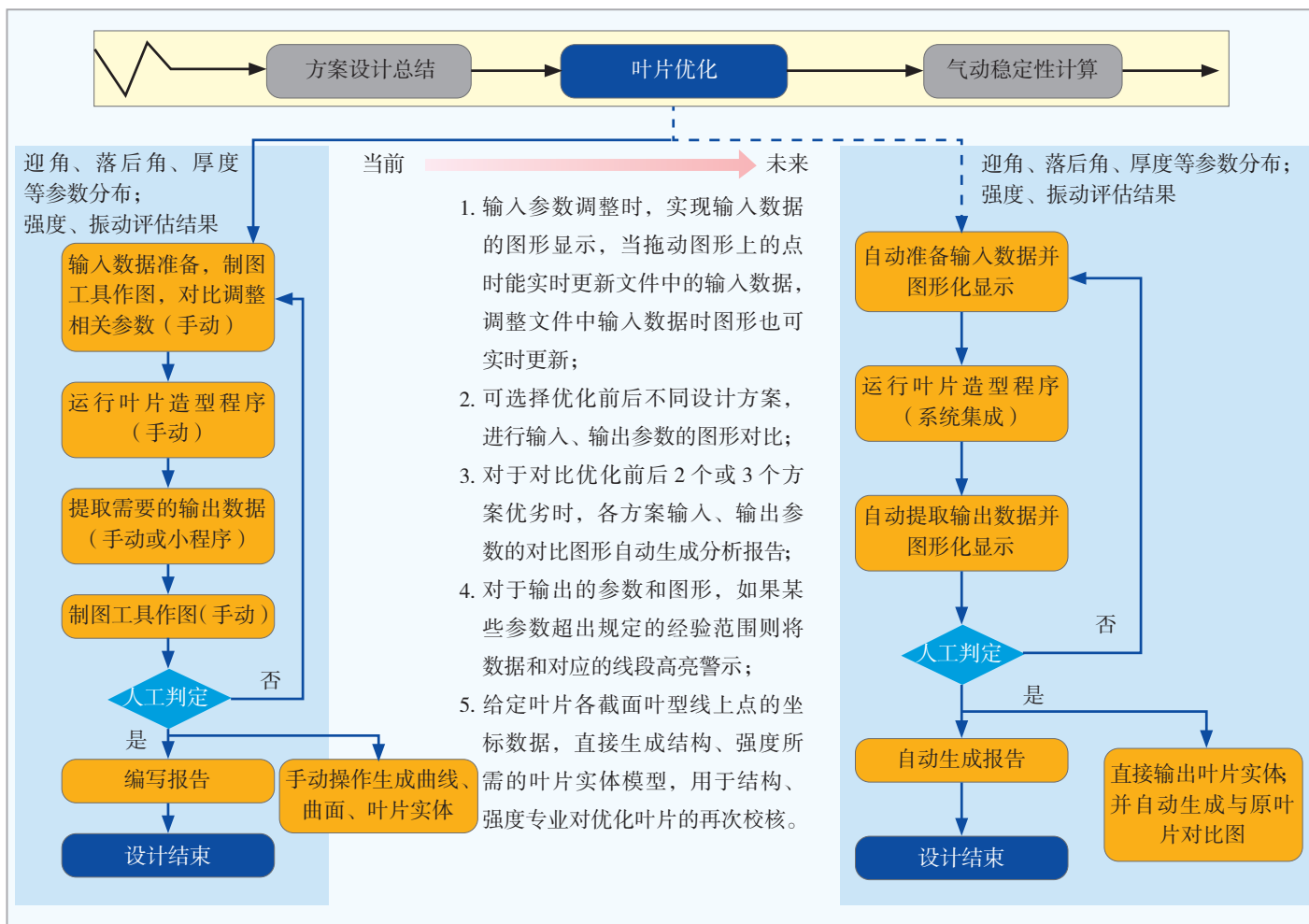


图3 专业场景示例——叶片造型优化场景

压气机中心对上承接集团项目管理下发的任务包，由集团压气机中心相关人员制订整体项目计划，在集成研发系统中定义顶层的研发流程并进行流程分解，将分解的流程分发给各压气机分部。当压气机分部接到流程后，按需对流程节点进行再分解，并把分解后的流程同步至集团压气机中心，在集团压气机中心进行流程汇总合并。随后，集团压气机中心和各单位压气机分部分别在本单位部署的系统上开展设计活动，过程数据存储在本单位的过程数据中心，并同步到集团过程数据中心，结果数据提交到集团

压气机中心产品数据管理系统进行审批和归档，并反馈数据审批状态到集团的集成研发系统，再将任务状态回传给集团的项目管理系统，做到整个研发过程的闭环管理。

专业研发

专业研发业务在产品研发整体视图中设置工业应用（App）支撑点，使用专业研发活动卡片梳理工业App需求，设置专业研发场景改善研发活动，使用平台封装工业App实现专业场景。以叶片造型优化场景为例，叶片造型优化场景如图3所示。

叶片优化是在S2流场详细设计计算的基础上，结合S1流场分析、

强度、振动评估结果等调整叶形设计参数及其径向分布，优化转子叶片和静子叶片造型。叶片优化完成后，生成的是叶片各截面线上点的坐标数据，需要人工操作生成曲线、曲面和叶片实体，进行结构和强度的再次校验。在未来流程中新增了图形化处理和编辑功能、自动生成叶片实体模型功能，通过设置的新功能，省略大量的人工拷贝和操作工作，更快地获得较优的设计方案。

集成研发系统IT方案

集成研发系统信息技术（IT）方案主要包含数据架构、应用架构、技

术架构和系统方案。

数据架构

数据架构方案的核心设计点包括关键数据识别方案和数据流方案。

项目主管在创建项目管理（PPM）系统顶层计划后，将计划任务信息下发至专业负责人，专业负责人在集成研发系统进行任务分解后将任务信息及任务输入下发给专业工程师，专业工程师在CDM系统执行任务。专业工程师完成任务后将结果数据上传给科室主任在协同研制（PDM）系统进行任务审批，并将任务完成情况的说明、审批的结果数据上传，进行计划完成情况提交。计划完成情况提交后，一方面将计划完成情况说明反馈至PPM系统给项目主管；另一方面将归档的结果数据上传至PDM完成数据归档。

应用架构

应用架构明确系统本身的功能模块以及其他应用之间的集成关系。以压气机产品研发业务为例，集成研发系统支持跨域协同的应用模式。

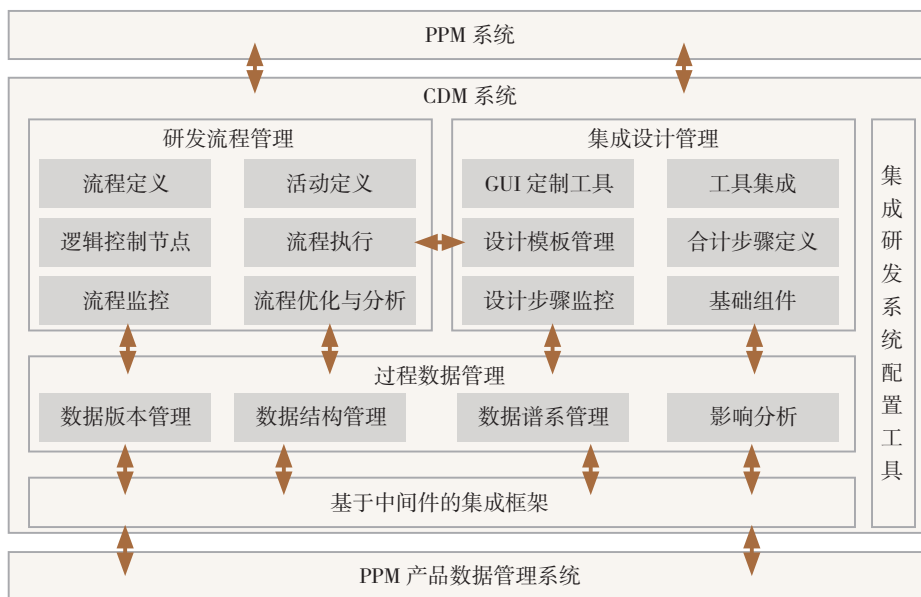


图5 产品功能架构示意

集团压气机中心作为核心数据中转站，各直属单位根据任务紧急程度，随时/定时同步更新数据，直至集团压气机中心与各直属单位的数据库完全同步，最终实现任务、流程与数据的可跨域协同。

为了满足跨域协同的应用模式，需要进行多点数据库数据同步，其中

典型跨域协同应用场景应包含跨域流程同步、跨域过程数据同步（见图4）、跨域工具同步以及跨域任务同步等。

产品功能架构如图5所示。

研发流程管理承接多项目管理中的任务信息，并细化多项目管理中的任务和活动，可以直观、方便地定义任务的逻辑关系并执行任务设计模板。

集成设计管理实现了任务和活动中软件集成、模块化建模、统一关联模型、多学科优化、知识工程等技术的融合，并与主流工程软件环境实现无缝集成，通过设计、分析、优化环境的统一，创造了一种真正符合工程习惯的设计过程模式。

过程数据管理主要对工程设计过程中设计参数、设计模型、分析模型、分析结果、试验数据、报告等过程数据管理以及产生这些数据的操作和过程进行管理。

集成研发系统主要由统一门户、任务管理、研发模板管理、基础数据管理、过程数据中心、过程知识、

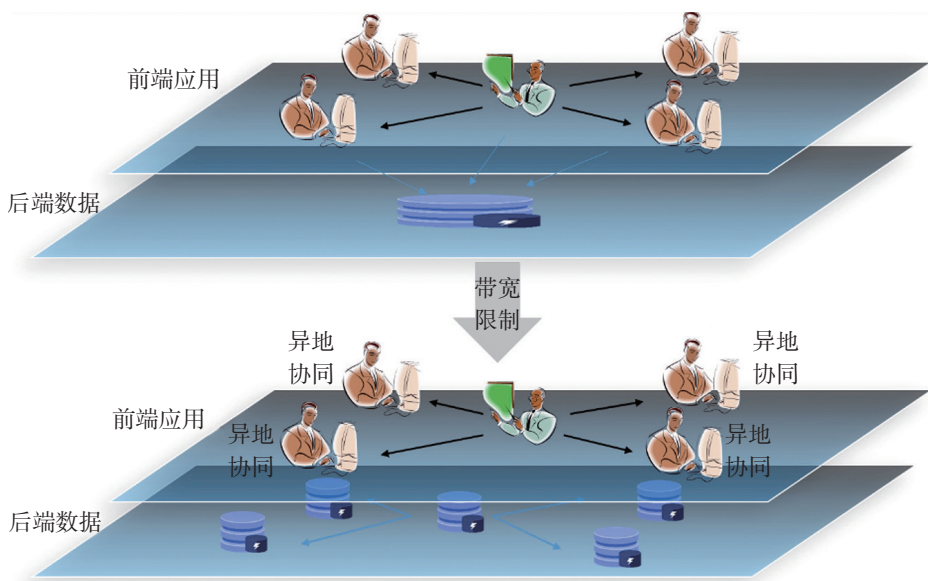


图4 跨域协同方案——数据库同步

表1 集成研发系统功能特性及其支持的场景

功能	描述	支撑场景
流程模板构建	系统支持标准化任务模板建模, 支持使用模板进行任务的快速分解和裁剪	模板管理场景
项目进度管理跟踪	系统支持任务状态自上而下实现自动进度卷积, 支持项目经理和专业责任人进行任务进度跟踪	专业内协同场景
团队管理	系统支持团队管理, 支持团队结构自定义和团队权限管理功能	专业内协同场景
流程监控和执行管理	系统支持流程监控和执行管理	专业内协同场景
审签管理	系统支持研发任务审签管理	跨专业协同场景
过程数据管理	系统支持过程数据管理以及对产生这些数据的操作和过程进行管理	跨专业协同场景
数据多视图管理	系统支持数据多视图管理	任务执行流转典型场景
数据版本管理	系统支持完善的数据版本管理, 包括数据追溯、归集及成套性等	跨专业协同场景
数据权限管理	系统支持数据权限管理	跨域协同场景
数据成套性管理	系统支持数据成套性管理, 能够按照用户所选的型号、部件等系统自动列出相关数据	专业内协同场景
数据查询	系统支持研发过程中对研发数据的查询(知识库)	任务执行流转典型场景
多方案管理	系统支持多方案管理	专业内协同场景
工具封装引擎	系统支持具有常见工程软件封装引擎	专业内协同场景
工具模板构建	系统支持将封装好的工程软件定义成模板, 后续可被重复应用和持续优化	模板管理场景
协同研发管理	系统支持跨域、跨专业、专业内协同研发	跨域协同场景 跨专业协同场景 专业内协同场景
标准规范管理	系统支持研发标准、规范的封装及统一管理, 支持对标准规范的主动搜索和被动推送功能	模板管理场景
系统管理员管理	系统支持系统管理员管理	三员管理场景
安全管理员管理	系统支持安全管理员管理	三员管理场景
审计管理员管理	系统支持审计管理员管理	三员管理场景
项目团队管理	系统支持项目下维护项目团队, 并定义团队成员的项目角色	跨域协同场景
项目统计	系统支持从多种维度对项目任务进行统计	跨域协同场景 跨专业协同场景 专业内协同场景
发起预警消息提醒	系统支持业务变更时上游发起预警, 支持下游消息提醒预警信息	专业内协同场景
跨域协同可视化	系统支持跨域协同可视化整体界面	跨域协同场景

可视化管理、外部系统集成接口以及系统管理构成。

技术架构

技术架构提出了系统的运行环境, 明确了部署模式。以中国航发为核心, 通过航发网实现各单位集成研发系统间的连接, 系统内各单位均可接收到来自集团的任务。

系统方案

集成研发系统通过研发模板建模与管理、研发任务及协同管理、研发数据管理、可视化管理和系统配置管理等5个功能模块共23项功能实现业务场景。各项功能特性及其支持的业务场景如表1所示。

每项功能都包含若干技术特征, 分别进行设计。以多方案管理功能为例, 包含IT原型界面设计和数据库表设计两项技术特征。

数据库设计依据逻辑数据模型设计及技术方案中的数据库选型, 增加主外键、索引、存储过程、视图, 设计全部属性、数据列、数据约束, 得到物理数据模型。经过物理数据模型设计, 已经具备将设计转换为具体的数据库脚本的能力。

结束语

AEOS建设对航空发动机研制工作提出了新的要求。作为AEOS产品研发体系落地重点项目之一, 开展航空发动机集成研发系统建设, 为航空发动机研制能力、效率与质量提升奠定了基础。在研发流程的固化与优化、软件的标准化和复用、过程数据的管理与研发环节的可追溯等方面, 实现了质的飞跃。 **航空动力**

(张彪, 中国航发研究院, 工程师, 主要从事航空发动机工程信息化建设)