

平台化赋能与生态重塑：

2025 航空产业数字化转型研究

铸基计划 | 产业深度观察

2025年12月

前 言

当前，全球航空产业正加速迈入数字化转型深水区。面对产业链条长、参与主体多、技术标准高、安全要求严等固有特征，传统“蜘蛛网”式的数据系统交互方式与“烟囱式”的数据开发模式已难以满足设计端的跨企业数据互通、制造端的供应链高效协同与运营端的全生命周期统一管理需求，逐渐成为制约航空产业数字化转型效能提升与突破的核心瓶颈。为此，打破数据壁垒、构建高效的产业协同生态，成为推动产业整体效能提升的核心议题。

党的二十大报告指出，要加快建设数字中国、发展数字经济，促进数字经济和实体经济的深度融合。2023年7月，民航局发布《关于落实数字中国建设总体部署 加快推动智慧民航建设发展的指导意见》，旨在贯彻落实《数字中国建设整体布局规划》《关于构建数据基础制度更好发挥数据要素作用的意见》，更好统筹新型基础设施建设，激活数据要素潜能，充分发挥智慧民航建设在推进民航高质量发展中的创新引擎作用。

本研究聚焦全球航空产业数字化转型趋势，针对航空产业“产业链长、主体多、标准高、安全严”的特征，围绕以下内容进行分析：一是对航空产业结构进行划分，界定出“航空装备制造”与“民航运营”两大板块，并基于两者在产业属性、转型目标上的本质差异，进行了差异化场景分析。在此基础上，本文对中、美、欧三大经济体在航空数字化领域的不同发展路径进行比较研究，分别总结了各自的模式特征与战略侧重。本文指出，我国航空产业依托独特

的“链主企业引领”模式，在制造端技术突破与运营端生态协同方面正走出一条双轨并进的追赶道路；**二是指出传统数据交互与开发模式的瓶颈，创新性提出“平台化建设”概念。**该模式以协同机制为核心，超越传统的实体技术平台集成思路，通过构建一套开放的数据交互标准与业务协同规则，实现产业链各环节资源的柔性对齐与高效联动。其本质是一种以协同机制为核心的“虚拟化数字平台”运作模式，以更低的成本和更高的灵活性，达成更深层次的产业协作；**三是围绕平台化建设框架，本文为我国航空产业未来的数字化转型实践提出了针对性启示，**具体包括：攻坚关键技术与核心场景，推进复杂系统的一体化集成开发，加快协同标准与规则体系建设，以及推动区域性产业集群的资源整合。本研究期望为我国航空产业制定数字化转型战略、迈向高质量发展提供理论参考与决策支持。

编制说明

本研究自 2025 年 3 月启动编制，分为研究规划、框架设计、文稿起草、征求意见与修改完善五个阶段。本文系统分析了全球航空产业数字化转型背景与差异化实践，深入阐释了“平台化建设”路径如何重塑航空产业协同范式与核心能力，并全面剖析了当前本土航空企业数字化转型的优势、痛点及主流突破路径。通过梳理航空关键场景并结合相关典型案例展示了平台化建设成效与演进趋势，旨在为航空产业决策者与从业者提供系统性洞察、策略建议与决策参考。

课题组名单

编写指导	
王景尧	中国信息通信研究院泰尔终端实验室数字生态发展部
吴荻	中国信息通信研究院泰尔终端实验室数字生态发展部

主编	
冯艺卓	中国信息通信研究院泰尔终端实验室数字生态发展部
付之恒	中国信息通信研究院泰尔终端实验室数字生态发展部
张可蒙	中国信息通信研究院泰尔终端实验室数字生态发展部
黄志锋	广东省机场管理集团有限公司
李泽雄	广东省机场管理集团有限公司
李莹	广东省机场管理集团有限公司
付茂胜	中航金网（北京）科技有限公司
李宇昂	中航金网（北京）科技有限公司
白涛	中航金网（北京）科技有限公司
吕斯皎	中航金网（北京）科技有限公司
陈雯	中航金网（北京）科技有限公司

参编单位
三六零数字安全科技集团有限公司
联佳科技（苏州）有限公司
上海思普信息技术有限公司
重庆励颐拓软件有限公司
是石科技（平湖）有限公司
用友网络科技股份有限公司
上海黑湖网络科技有限公司

本文的编撰得到了多位行业专家的无私支持，他们无偿分享的行业观点为本文内容提供了重要参考，在此谨致诚挚谢意。需说明的是，书中专家观点仅作参考之用。再次感谢各位专家的宝贵付出。

目 录

- 一、全球航空产业数字化建设背景 2
 - （一）航空制造与民航运营的差异化场景分析 3
 - （二）航空数字化转型地域发展现状——以中美欧发展差异为例 5
- 二、航空产业数字化场景梳理 14
 - （一）航空产业数字化场景软件服务厂商图谱：数字场景的系统性归纳与梳理 14
 - （二）本土航空企业在数字化转型过程中的独特优势 16
 - （三）本土航空企业在数字化转型过程中的痛点与挑战 18
- 三、航空产业数字化转型启示——平台化与生态重塑 25
 - （一）攻坚关键技术与核心场景，突破国外技术壁垒 27
 - （二）推进复杂系统一体化开发，增强产业链韧性 27
 - （三）推动协同标准与规则体系建设，夯实平台化建设的生态基础 28
 - （四）加速集群资源整合，形成区域产业特色生态 28
- 四、航空产业数字化转型关键场景及典型案例 29
 - （一）工厂工艺仿真设计 29
 - （二）算力调度 34
 - （三）生产计划与排程 37
 - （四）航空供应链管理 43
 - （五）航空器维修辅助决策和故障预警 48
 - （六）产品全生命周期管理 51
 - （七）数据治理 56
 - （八）智慧机场建设 61
- 附录一：英文译文对照表 66
- 附录二：2025 航空产业数字化场景软件服务厂商图谱 71

图 目 录

图 1	航空装备制造与民航运营板块划分依据	3
图 2	空客集团数字平台具体架构	7
图 3	数字线程支撑飞行器生命周期决策流程	10
图 4	机体数字孪生细分领域	10
图 5	A-CDM 系统赋能场景汇总图	14
图 6	全球 EDA 软件市场份额分布图	19
图 7	国内 EDA 软件市场份额分布图	20
图 8	2022 年以来，美国对中国实行 EDA 软件应用限制时间节点	21
图 9	研发设计环节国内外主流软件使用差异对比	22
图 10	“平台化”协作机制示意图	26
图 11	励颀拓仿真设计操作界面	32
图 12	仿真计算结果 A	33
图 13	仿真计算结果 B	33
图 14	数字化生产执行流程	40
图 15	“智造”平台数据流转机制	41
图 16	数据安全交换环境	45
图 17	航空装备供应链复杂网络模型	46
图 18	梳理优化业务流程（样例 1）	54
图 19	梳理优化业务流程（样例 2）	54
图 20	构建以工作包为中心的管理模型（样例 1）	55
图 21	构建以工作包为中心的管理模型（样例 2）	55
图 22	Epicor ERP 接口集成图	56

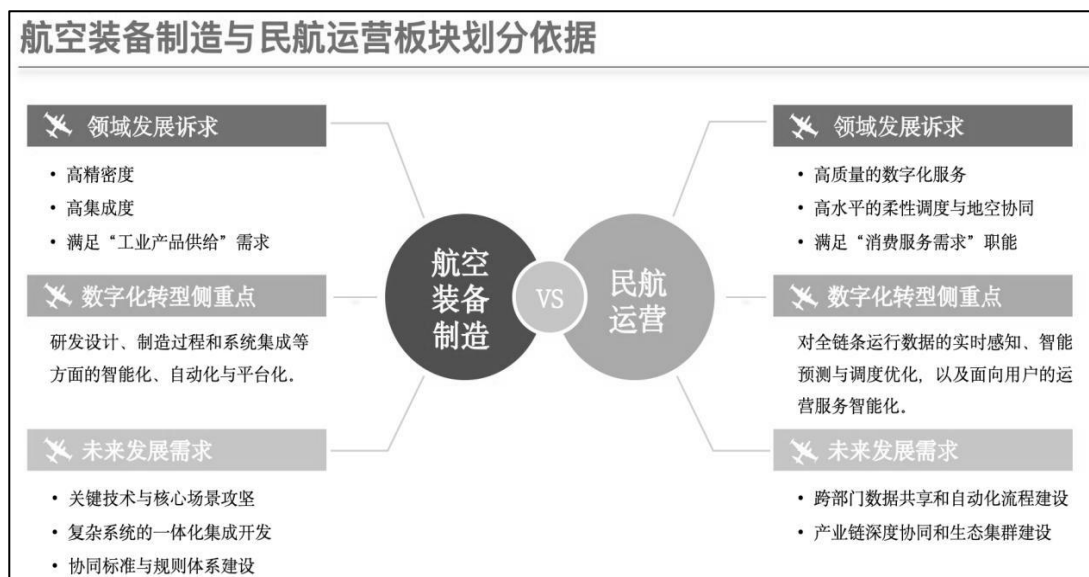
表 目 录

表 1	航空产业数字化图谱（航空装备制造领域）关键结论	15
-----	-------------------------------	----

一、全球航空产业数字化建设背景

当前，数字技术的不断发展与更新迭代正深刻重塑着航空产业的发展格局。作为一个高度复杂化的产业系统，其内部存在着功能定位、价值链条与发展路径等截然不同的核心组成部分。当今，在对航空产业进行分析整体解读时，部分研究在兼顾全局性的同时往往会缺失对航空产业下细分领域的针对性洞察，从而制约了对当今中国航空产业数字化转型的深化发展。

在航空产业数字化转型不断深化的背景下，可以将航空产业分为“航空装备制造”与“民航运营”两大板块，两者所面临的技术发展路径与应用场景也存在着不同的演进趋势。对“航空装备制造”与“民航运营”两大板块进行清晰界定、区分与差异化分析，不仅有助于从理论层面深化对航空产业理解认知的逻辑基础、精准识别各自的转型适配路径，更是实践层面实现航空产业高质量发展的战略前提。只有厘清二者的边界与协同逻辑，才能精准总结出两者在产业属性、转型需求与协同逻辑上的本质差异，真正把握各自在数字化转型中的核心诉求。



来源：公开资料整理

图 1 航空装备制造与民航运营板块划分依据

（一）航空制造与民航运营的差异化场景分析

1. 航空装备制造产业——聚焦关键技术的自主研发

航空装备制造产业，聚焦于飞行器及其相关配套设备从无到有的全过程，涵盖研发设计、生产制造以及后续的维修改装等核心环节。航空装备制造环节涉及气动设计、材料科学、航电集成等关键技术的协同运作，使得这一产业具有显著的技术密集、资本密集以及长周期特性，而其也成为了代表国家高端制造的典型领域。

从细分主体来看，航空装备制造主要包括主机厂、供应链企业、制造配套企业以及特种工艺企业等，它们共同构成了以研发设计与生产制造为核心的产业体系。其中，主机厂处于产业链主导地位，承担产品总体设计与集成任务；供应链及配套企业则提供零部件、材料及制造装配服务；特种工艺企业则负责提供专门技术和特殊工艺支持。该领域主体以技术研发与生产制造为中心，发展重点集中

于技术突破、工艺优化与产业链协同，形成了典型的“技术驱动型”产业特征。

从发展路径与侧重点来看，在数字化转型过程中，加强关键技术自主研发、全力攻坚航空制造核心模块是该领域的重中之重¹。航空装备制造企业通过数字化转型，利用数字技术对发动机的设计、制造过程进行模拟优化，结合大数据分析对发动机运行数据进行实时监测与故障预测，能够有效提升研发效率，实现核心技术的自主研发替代与国产方案适配，显著增强我国航空装备制造产业的自主可控能力。

2.民航运营产业——聚焦全流程数字化服务生态的构建

民航运营产业，是依托航空装备制造所提供的产品，开展客货运输及其相关衍生服务的产业形态，其核心目标是将航空装备制造所创造的价值与成果市场化、社会化。民航运营产业具有鲜明的网络化流程化与强市场导向特征。航线网络的布局、航班时刻的安排以及服务质量的提升，都围绕着满足市场需求以及构建高效的运输网络展开。

从细分主体看，民航运营产业则由航司、机场及多类服务配套企业构成，围绕运输服务与旅客体验展开。航司承担客货运输的主体职能，机场提供起降与服务保障，而民航配套企业则通过物流、

¹ 航空发动机被誉为“现代工业皇冠上的明珠”，其研发制造涉及高温材料、复杂冷却技术、精密制造工艺等诸多关键领域。它的技术创新不仅直接影响航空安全与效率，还推动了能源、材料、制造等多个行业的跨越式发展，成为了现代工业技术实力的象征。

通信、空管等环节支持整体运营体系。与航空装备制造产业相比，民航运营的主体结构更加服务导向与网络化，其发展重点集中在效率提升、服务优化与客户体验，形成了典型的“运营驱动型”产业特征。

从发展路径与侧重点来看，该领域主要聚焦于构建“全流程服务数字化生态²”。在此基础上，民航运营各主体间还在不断强化企业间数字化协同，实现数据共享与业务合作。中国民航局《智慧民航建设路线图》明确提出的“出行一张脸、物流一张单、通关一次检、运行一张网、监管一平台”目标，正是这一发展方向的具体体现³。

（二）航空数字化转型地域发展现状——以中美欧发展差异为例

随着航空装备制造与民航运营领域在数字化转型中的目标与应用场景不断分化，两者在平台化建设路径上的选择也呈现出显著差异。本文将从中、美、欧三个维度出发，系统探讨三者航空产业数字化与平台化生态构建中的差异化路径，并进一步分析其所取得的实践成效。

1. 欧洲：以平台开放促生态协同，构建多边标准与系统集成体系

2 例如，对于机场来说，通过引入智能化的旅客服务系统，实现自助值机、行李追踪、个性化服务推荐等功能，提升机场运营效率，加快民航服务系统升级是当前的重点发展方向。

3 中国民用航空局.中国民用航空局关于印发智慧民航建设路线图的通知:民航发〔2022〕1号[Z].北京:中国民用航空局, 2022-01-21.详见

<https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/ZCFB/202201/P020220330608642797255.pdf>。

21 世纪以来，欧洲在航空数字化发展中强调协同共享与规范标准，打造了一种以生态共建与多边标准为基础的协同治理路径。得益于欧盟在产业协调和规制层面的能力基础以及欧洲航空公司对可持续性、安全性与系统兼容性设备、数据和平台的高度重视，欧洲航空产业发展呈现出“推动标准统一化、强化产业链协同、提升平台开放性”的核心特征⁴。并且，欧洲航空产业基于“统一、协同、开放”的思想，也构建起了多元化主体参与的数字化生态体系。

（1）航空装备制造领域

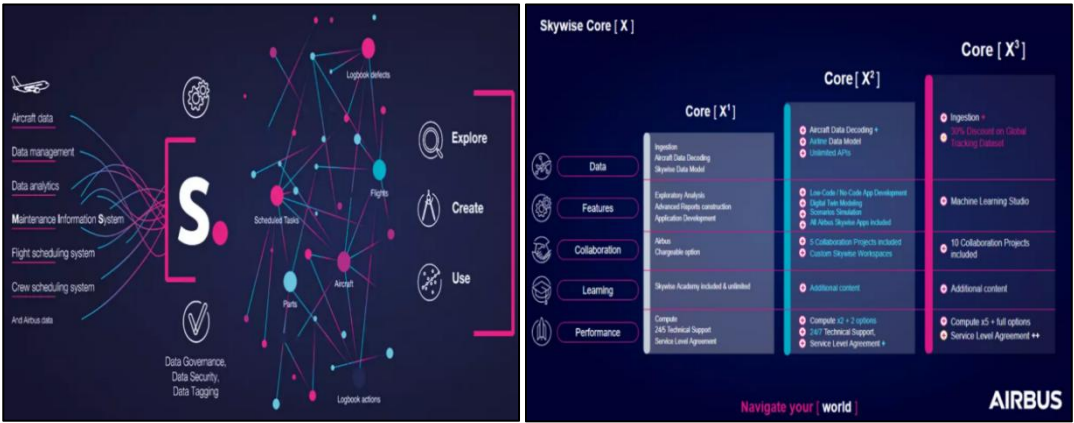
在航空装备制造领域，欧洲在持续强化航空领域规范与标准体系建设的同时，亦以开放包容的姿态积极构建高效协同的产业合作生态，为行业资源整合与技术协同奠定基础。以欧洲航空产业数字化转型典型厂商空客集团（Airbus）为例，其推出的平台产品已成为当前全球最具影响力的航空数据平台之一，不仅整合了飞机传感器数据、维护记录、飞行计划等多源数据资源，还实现了对机队运营状态的实时监控与预测性维护⁵；空客致力于实现 3D 设计、工程、制造、服务、模拟和人工智能活动的原生数字连续性。在不断强化自身数字化基础水平与设计能力的基础上，空客集团部署了达索系统（Dassult Systèmes）相关平台，通过统一数据模型实现了“数字设计制造与服务（Digital Design， Manufacturing and Service，

4 这种特征具体表现为：欧洲航空安全局（European Union Aviation Safety Agency，EASA）负责制定欧盟范围内的航空安全、环境和技术标准，确保各航空公司、飞行器和航空系统的兼容性。在标准统一建设的推动下，欧盟各大航空公司、机场和航空管理机构积极参与 SESAR（Single European Sky ATM Research）项目，通过合作研发和推广新技术，改进空中交通管理和飞行效率，这也成为欧洲优质生态协同的典型示例，具体信息详见 <https://www.sesarju.eu/>。

5 具体信息详见 <https://aircraft.airbus.com/en/services/enhance/skywise-data-platform/skywise-core-x>。

DDMS) ”。

目前，空客的数字平台已为全球超过 11900 架飞机提供服务，空客基于此借助民航飞机源源不断产生的大量数据，持续优化自身飞机设计与制造的迭代逻辑。并且，空客与达索两大巨头的合作不仅优化了空客内部跨部门协作，更展现了欧洲通过联合制造商共同设计新一代飞机，显著降低成本和缩短产品上市周期的航空产业发展路径，并为下一代飞机研发奠定坚实数字化基础⁶。



来源：Airbus 官网

图 2 空客集团数字平台具体架构

(2) 民航运营领域

在民航运营领域，欧洲以“数据互联互通”为重点，加快民航数字化与智能化建设。欧洲借此建立并完善了“机场协同决策（Airport-Collaborative Decision Making, A-CDM）”系统，通过整合机场运营商、航空公司、地勤公司及空管等关键参与方的数据流，并增强信息透明度与跨部门协作来优化机场运营效率，确保飞机周转与离港流程的可预测性。在提升单个机场运行效率的同时，其也

6 详见 <https://www.airbus.com/en/innovation/digital-transformation/digital-design-manufacturing-services>。

为欧洲空域的整体流量弹性与安全水平提供了系统性支撑。并且，欧洲在数字化建设的过程中，实现了将本地机场运营与欧洲空中交通流量管理（Air Traffic Flow Management, ATFM⁷）网络联动的关键创新，通过标准化数据的共享提升整体空域的利用率，实现机场资源的高效利用与空中交通的可预测管理。

欧洲通过确立 A-CDM 系统的数据共享与流程优化机制，并借助标准化数据接口将机场离港信息与 ATFM 系统深度整合，显著提升了机场运营与空管网络的规范性与整体效率。目前，欧洲各大机场即使在流量高峰或空中交通管制限制增加的条件下，仍能更好地遵守 ATFM 时段安排，不仅增强了全网络交通流量的可预测性，还通过优化离港排序（Departure Manager, DMAN）减少了空中交通管制引发的延误，显著提高了航班流程的灵活性与可预测性。

2. 美国：基于核心技术垄断优势的制造全流程闭环建设

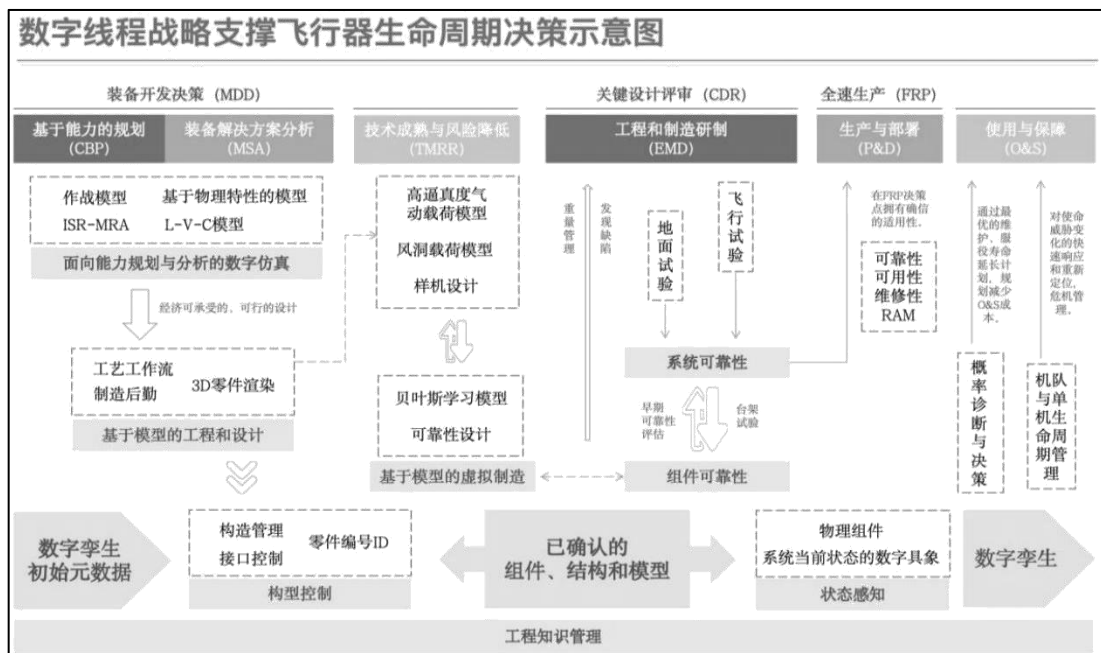
在全球航空产业数字化转型浪潮中，美国以其深厚的工业基础、强大的科技创新能力和产业规则制定权，展现出工业软件驱动、数字孪生整合、标准管控制度前置等成套闭环的数字化转型路径。相较于强调多边协同与标准融合的欧洲，美国的航空数字化更注重通过对关键工业软件的系统性垄断、对航空数据与算法的深度挖掘以及对产业上下游数字生态进行垂直整合，以获取全球性竞争优势。

（1）航空装备制造领域

⁷ 详见 <https://eu-lac-app.eu/public/uploads/6-ECTL-ATFCM.pdf>。

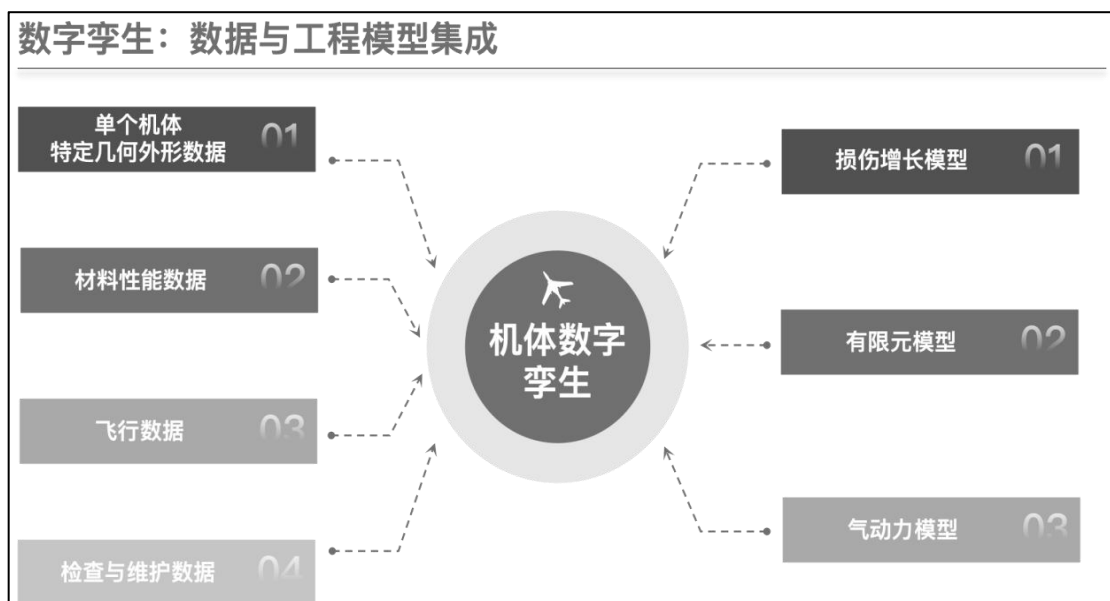
在制造端，美国通过打造以工业软件为核心的数字平台，在此基础上多年深度参与全球航空标准的建设，获得了在全球航空制造数字化中的主导权。

标准建设方面，美国基于高垂直整合度与强技术主权意识，以技术标准输出和认证壁垒构筑起其国际竞争优势，为其在全球航空产业数字竞争中维持领先地位提供了坚实支撑。美国的航空制造企业依托达索等巨头厂商的领先技术工具与垄断技术，从源头建立起“软件即标准”的控制逻辑，搭建从设计、仿真、制造到维护的全流程数字化体系，在曲面建模、全三维数字定义、多学科仿真验证等环节进行全链条的数字化实践，并将其与数字孪生深度结合，实现了效率与成本的双重改良，完成了从设计理念到产品交付的全流程数字化整合；借助联邦航空局（**Federal Aviation Administration, FAA**）在国际民航认证与运行标准制定中的核心地位，美国通过将自有标准植入 **ISO/SAE** 等国际体系的方式，构建起以标准输出为导向的全球数字航空规则话语权。



来源：公开资料整理

图 3 数字线程支撑飞行器生命周期决策流程



来源：公开资料整理

图 4 机体数字孪生细分领域

产业生态构建方面，美国航空产业的数字化进程高度依托其在人工智能、云计算与大数据处理等通用技术领域的领先地位。以波音公司（Boeing）为例，其近年来持续推进“数字生态系统转型”，

先后与谷歌（Google）、亚马逊（Amazon）等互联网技术巨头合作，通过模型驱动工程、人工智能算法优化和云端部署，提升飞机设计、生产与服务的智能化水平⁸。

（2）民航运营领域

美国民航企业的数字化转型实践在民航运营层面同样发挥着关键作用。相比于其他国家，美国各大航司较早地构建起以数字化体验为核心的服务体系⁹。一方面，通过人工智能与大数据分析提升行李管理效率，显著降低了行李延误率，提升了客户满意度¹⁰；另一方面，美国各航司通过系统化部署人工智能技术与移动云平台，不仅扩大了业务流程的应用范围、提升了运营效率和服务透明度，还实现了航班调度智能化、行李全程跟踪可视化以及乘客服务个性化等具体应用¹¹，极大发挥了其在航空运营数字技术上的优势，使美国航空产业在全球竞争中保持领先地位。

3. 中国：凭借国家战略与完备制造体系，逐步构建起具备自主控制力和系统集成能力的航空数字化生态

在全球航空数字化的进程中，我国作为“后发追赶”者，依托

8 详见 <https://www.flyingmag.com/boeing-advances-plans-to-transition-to-digital-ecosystem/>;
<https://www.boeing.com/services/government/data-analytics>。

9 以达美航空（Delta Air Lines）为例，公司斥资部署相关行李追踪系统，覆盖全球 300 余个机场，乘客可以通过指定应用实时查看行李在装机、运输与提取的流程位置，实现 99.9%行李追踪成功率。详见 <https://pro.delta.com/content/agency/gb/en/products-and-services/baggage/real-time-bag-tracking.html>。

10 资料显示，美国某航司使用生成式人工智能（Generative AI）向旅客推送航班状态通知等服务后，其总体客户满意度提升了约 6%，详见 <https://www.destinationairforum.com/united-airlines-use-of-generative-ai-results-in-6-improvement-in-overall-customer-satisfaction/?Utm>。

11 以美国航空（American Airlines）为例，其移动应用集成了生成式人工智能助手，能够根据旅客的需求提供个性化的服务建议，如自动重新预订、航班信息更新和机场导航等。此外，面部识别登机 and 实时通知系统也在部分航班中投入使用，提升了登机效率和旅客体验。详见 <https://news.aa.com/news/news-details/2025/Technology-is-making-travel-even-easier-this-summer-MKG-OTH-06/default.aspx?Utm>。

国家战略引导、政策驱动力与庞大制造体系的完备基础，正走出一条“制造端实现自主突破”和“运营侧加强生态协同”的发展路径。相较于欧美国家，中国的航空产业数字化转型以政策引导为核心，通过技术突围、平台搭建与应用落地的快速推进，正形成具备强大自主控制力与系统集成能力的航空数字化生态。

（1）航空装备制造领域

我国高度重视核心工业软件与数字系统平台的自主可控能力，聚焦于“卡脖子”环节的突破与关键技术和系统的自主研发。

在设计研发环节，中国航空企业通过研发独立自主的三维建模与仿真软件，加速摆脱对国外软件与系统的依赖，不断推进建设数字化研发平台与统一的接口、标准；在生产制造环节，广泛部署先进的智能排产与数字孪生技术，加速先进数字技术赋能航空企业生产；在运维服务环节，通过自主可控的大数据平台与预测性维护系统，实现对飞机零部件的全生命周期高效管理。

上述实践不仅强化了中国航空企业的自主研发能力，也逐步将数字化全面覆盖到了从设计研发到运维服务的各个环节。

（2）民航运营领域

中国民航领域在运营层面则更加强调以服务系统数字化重塑与系统平台化协同，以空管数字化、平台化和生态化构建为重点，为全机场管理体系的高效运维管理奠定了坚实基础。

首先，以顶层设计引导数字化转型实践。中国民航企业积极响应中国民用航空局的号召，实现了数字化建设与制度支持的紧密结

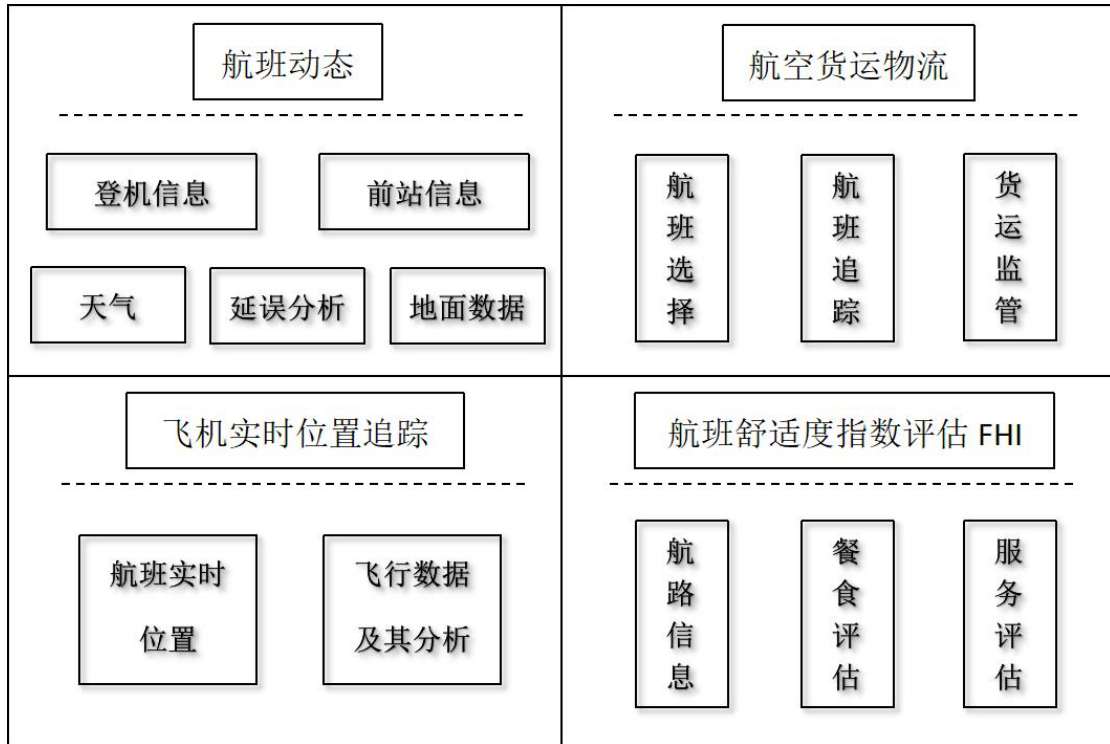
合。民航运营产业全面落实机场全要素数字化建设与数字孪生系统实践，推进空天地信息化、智能化协同能力建设¹²；在“智慧民航”建设战略的指导下，多地机场正在围绕“提升旅客体验、优化运行效率、强化安全管理”等核心目标打造 A-CDM 系统¹³，推动空地协同与地面运营系统的数字化融合建设¹⁴。

其次，国内新型生态助力创新成果落地。国内企业自主构建的机场协同决策（A-CDM）系统与地面运行管理系统（Ground Operations Management System, GOMS），成为了中国空中交通管制和地面保障智能化领域自主技术突破的重大成果之一。通过运行数据的共享与交互，国内的 A-CDM 系统实现了航班运行全流程的动态监控，并协同 GOMS 系统对于地面保障资源的精细化配置与任务自动分配，完成了地面调度智能化和站坪管理智慧化，实现了地空高效协同与运行态势实时监控。

12 中国民用航空局.中国民用航空局关于印发智慧民航建设路线图的通知:民航发〔2022〕1号[Z].北京:中国民用航空局, 2022-01-21.

13 将机场、空管、航空公司等相关方集成至统一平台,以实现机场营运管理的协同决策目的。A-CDM 系统可以实现以机场为中心的机场、空管及航空公司之间的协调运作。系统通过集成各方数据,并将数据进行共享,来实现以机场为中心、各个运营方资源的合理调配,提高整体的运行效率以保障航班运行。

14 国内某大型航空集团通过大力构建融合人工智能技术、大数据与云计算的“机场大脑”,整合多个平台模块,构建了基于云架构、新技术、数据与算法的技术创新应用生态,并依托数据、经验、场景、技术模型实现了航班调度、资源配置、客户服务等业务等方面的规模化的智能协同。



来源：公开资料整理

图 5 A-CDM 系统赋能场景汇总图

二、航空产业数字化场景梳理

对于复杂程度极高的航空产业来说，每个不同的细分领域在数字化转型过程中的需求各有侧重并且差异显著。因此，本文在对航空产业全链条数字化应用场景进行系统梳理后，通过编制“航空产业数字化场景图谱”（完整图谱详见附录二），呈现各场景业务关联及技术需求，不仅有助于识别数字化转型的关键节点和潜在瓶颈，还可以清晰反映航空产业整体的数字化发展现状。

（一）航空产业数字化场景软件服务厂商图谱：数字场景的系统性归纳与梳理

航空产业数字化场景的系统梳理与整体编制依然按照业务流程的不同，划分为“航空装备制造”与“民航运营”两大板块。

针对航空装备制造领域研发生产流程复杂、离散性高、数字化支撑场景众多等特征，我们将其按照“设计研发—生产制造—经营管理—运维服务—过程集成及其他—平台层”的逻辑进行分类总结，便于更明晰地展示航空装备制造各核心环节的技术要点与管理重点，也为后续梳理各环节的数字化转型路径、技术适配方向及协同逻辑提供了条理分明的框架支撑¹⁵。

相较于航空装备制造领域的核心技术难题，在民航运营领域，通用技术作为支撑多场景运转的底层能力，对其统一梳理能清晰呈现技术在值机、调度、安防等不同环节的应用逻辑与关联，避免同一技术在各场景中重复开发或标准不一。因此，我们将通用技术支撑作为民航运营领域的划分依据。

表 1 航空产业数字化图谱（航空装备制造领域）关键结论

应用领域	核心定义	聚焦技术 ¹⁶	关键结论
设计研发	基于空气动力学、材料科学核心技术，开展航空装备（发动机、航电系统等）的概念设计、三维建模、性能仿真与工程化验证，输出符合适航标准的设计方案与技术图纸	CAD、 CAE、 CAM、 EDA、 TDM 等	国内厂商数量不断增多，但呈现出分散化特征

15 具体来说，设计研发作为技术路径的起点，其成果通过生产制造实现转化，经营管理在全流程中调控资源配置与业务协同，运维服务延伸至交付后保障装备持续安全运行，过程集成打通各环节数据与业务壁垒，平台层则作为底层支撑为各环节提供数据存储、技术适配与系统运行环境，形成支撑从研发到运维等环节的完整闭环。

16 文中专有名词的英文全称与中文译名请查找附录一。

生产制造	依据设计图纸，通过零部件加工、复合材料成型、整机总装等环节，将设计方案转化为物理产品	MES、APS、PLC、DNC 等	头部厂商带动之下国内企业发展势头较快
经营管理	围绕航空装备制造的资源调配、成本控制、市场拓展等工作，包括供应链管理、财务管理、订单履约及战略规划，确保企业运营效率与市场竞争力	ERP、CRM、SCM、QMS 等	国内外厂商发展差距较小
运维服务	针对已交付的民航装备，提供全生命周期的维护、维修与升级服务，保障飞机安全高效运行	EAM、PHM、MRO 等	国外跨行业合作更加密切
过程集成及其他	打通设计研发、生产制造、运维服务等各环节的数据壁垒，通过数字线索、流程协同工具实现跨阶段信息流转	PLM、工业互联网平台、工业 APP 等	国内大型科技企业深度参与
平台层	依托工业互联网、数字孪生等技术搭建基础支撑平台，为各环节提供数据存储、算力支持与应用集成能力	工业制造平台、数字研发平台	大型企业主导

来源：公开资料整理

（二）本土航空企业在数字化转型过程中的独特优势

1. 链主企业在技术引领、流程统筹与资源配置方面发挥了不可替代的作用

有别于西方航空企业以市场驱动、技术主导、标准共建的平台化演进历程，中国航空产业数字化进程更多是在工业体系长期建设的基础上，依托链主企业统筹整合资源，逐步实现技术突破与全产

业链协同升级。

在航空装备制造领域，链主企业是整个产业中的主导者，在统筹规划全生产制造周期，推动产业行业技术标准化、国际化，关键技术攻坚与全球市场运营推广等方面发挥了重要作用，既有效规避了重复投入的低效，又实现了资源向核心环节的集中，进而使得中国航空产业在数字化转型阶段获得了独特优势——通过链主企业主导，快速聚合全产业链数据，形成覆盖研发设计、生产制造、运营服务的规模效应，让集中式数据调度、跨环节流程协同成为可能。

在民航运营领域，依托国内民航超大市场规模优势，链主企业不断推进规模化与深度协同化改造，既让技术应用的边际成本随覆盖范围扩大而降低，又为未来民航产业的平台化、数字化联动提供了强有力支撑¹⁷。在此基础上，技术适配的成熟度往往会随着用户规模扩张而持续提升。规模经济效应带来了全国机场的统一标准适配加速推进，实现了国产系统的稳定性验证与扩展。这种发展路径既助力国内自主研发系统与技术体系的持续深化，又为国内民航企业指明了数字化转型的实践方向。

2. 中小企业的强大活力驱动创新融合实践

与链主企业自上而下的统筹引领模式不同，中小企业在新一轮航空产业数字化建设周期中展现出强劲创新活力，大量成长型航空科技服务公司在多个领域快速崛起，成为推动航空数字化生态多元

¹⁷ 国内民航产业的规模化优势具体表现为民航企业基于庞大航线网络与运输需求，使得平台研发成本被大量应用场景摊薄。以国内某大型航司为例，其部署的 100%国产化自助柜机已适配进入国内多家大型航司，实现了国产技术方案的低成本、大范围复制。

化和技术突破的重要补充力量。

在航空装备制造领域，大量新兴航空科技创新企业快速成长，在精密制造、仿真建模、数字孪生等细分环节实现了多项突破。这些企业通常以更高的技术敏捷性和研发灵活性，致力于实现关键算法和核心部件的完全自主研发，并且在部分领域已达到国际领先水平。

在民航运营领域，中小企业的创新作用也在不断凸显。依托国内庞大的航线网络和数字应用场景，众多初创型与成长型企业在智慧出行、航班运行优化、客舱数字服务、行李追踪、智能安检等方向持续创新，成为推动行业服务数字化的重要驱动力。

正是中小企业创新数字化建设支撑过程中取得的一系列瞩目成果，使我国航空产业体系数字化建设在稳步推进发展的同时，具备了更高的技术迭代频率与创新活力。

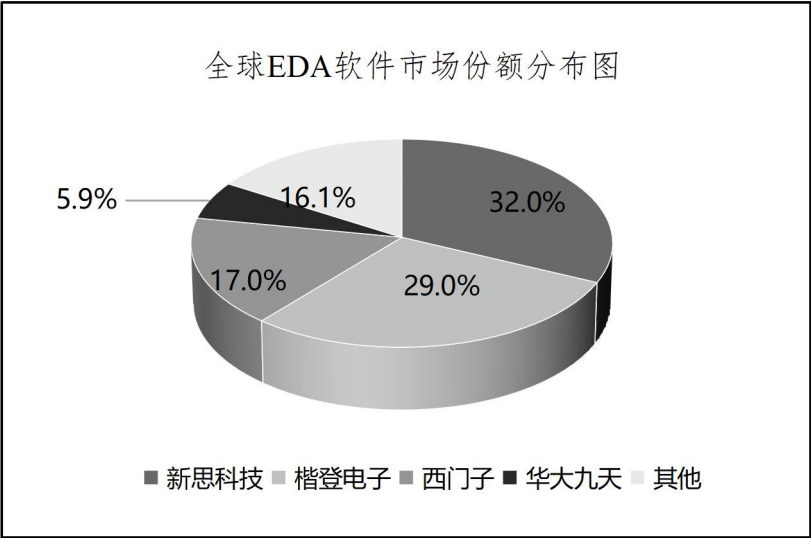
（三）本土航空企业在数字化转型过程中的痛点与挑战

在加速迈进数字化新征程的背景下，受行业发展阶段、技术积累周期等客观条件制约，当前本土航空企业在数字化转型中仍面临一系列现实难题与制约因素。一方面，从发展周期来看，我国航空产业的起步时间相较欧美国家而言存在着一定的时间差，因此面临着先发国家已形成的技术壁垒、国际大市场垄断等劣势，使得本土企业在关键软硬件领域相对更容易受到外部技术的制约；另一方面，由于当前的航空产业生态中缺乏统一的接口协议和数据标准，不同

企业、软件、平台之间存在着数据系统割裂、集成壁垒高等问题，制约了航空产业中跨企业、跨系统的数字化协同创新，国内航空产业在数字化转型进程中的协同建设还有待深度推进。

1. 核心领域“卡脖子”

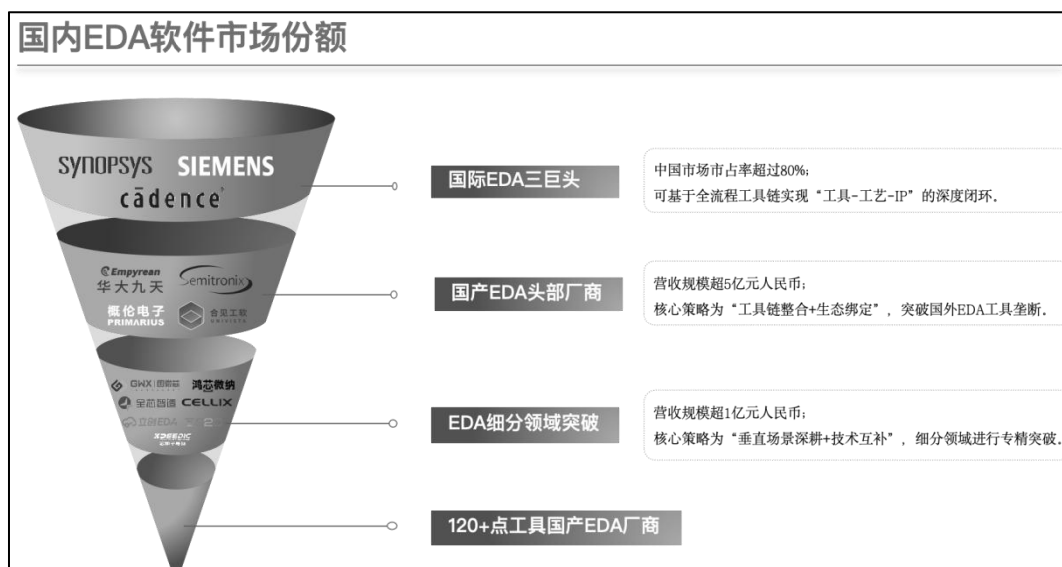
当前，国内航空装备制造企业在部分核心场景中仍受到国外厂商的制约。以设计研发环节中的电子设计自动化（Electronic Design Automation, EDA）研发为例，虽然近年来我国也在大力推进 EDA 软件的国产化，芯片设计厂商也在不断增加对国产软件的使用，但从全球 EDA 市场来看，国外 EDA 软件仍拥有较大市场占有率并居于垄断地位¹⁸。



来源：公开资料整理

图 6 全球 EDA 软件市场份额分布图

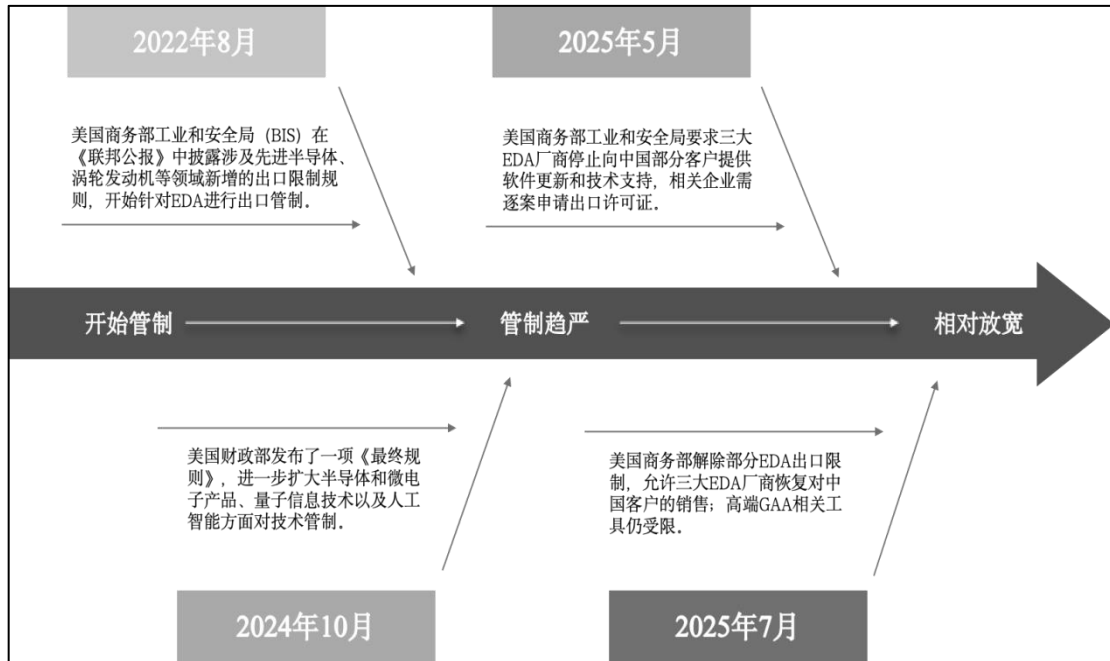
18 截止 2025 年 6 月，全球 EDA 市场 78% 的份额被新思科技（Synopsys,32%）、楷登电子（Cadence,29%）和西门子（Siemens,17%）三家美国企业垄断；三者在中国市场的份额更是超过 80%，当前 EDA 国产化率仅 11.5% 左右，具体信息详见 <https://www.trendforce.com/news/2025/06/02/news-china-revenue-at-risk-as-u-s-curbs-slam-eda-giants-impact-on-synopsys-cadence-and-more/?utm>。



来源：TrendForce

图 7 国内 EDA 软件市场份额分布图

航空装备制造中的航电系统高度依赖高性能芯片，而这些芯片的设计需通过 EDA 工具完成，而国外 EDA 工具在中国市场的高占有率直接影响了国内航空制造业设计研发流程自主可控的深度与广度。在当今经济摩擦加剧的全球格局下，我国航空产业所潜在面临的 EDA 芯片供应限制风险也在不断增大。从 2022 年 8 月开始，美国针对中国 EDA 芯片设计就进行了一系列出口管制与设计限制，相关企业在对中国出口时，需逐案申请出口许可证，直接影响国内数千家芯片设计企业的研发进度。该限制直到 2025 年 7 月才得到部分解除，当前部分高端技术工具对中国依旧存在出口限制（详见图 8）。



来源：公开资料整理

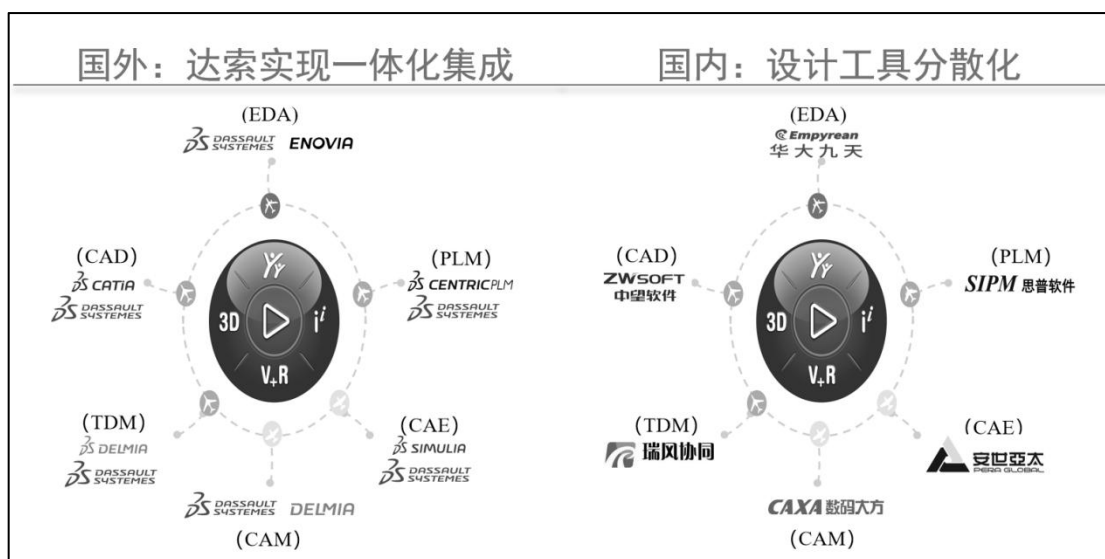
图 8 2022 年以来，美国对中国实行 EDA 软件应用限制的时间节点

2. 复杂系统一体化挑战

当今，中国航空设计研发领域数字化工具的核心差距不在于单点工具的国际垄断，而在于系统级工程知识库与设计研发生态仍与欧美存在一定差距。

对于国外研发企业，以法国达索系统为例，其推出的 CAD、CAE、CAM 与仿真软件已经构成航空设计、制造、协作、数据技术与管理等全流程的软件工具链¹⁹，为业界提供了航空级复杂系统设计的先进方案。当前，全球主要航空供应商也大多采用达索系统中的软件为核心工具，形成了数据格式与流程标准的垄断，其核心应用于波音 787、空客 A350 等全球性飞机项目，实现了从行业标准、软件功能到认证流程的完整闭环。

¹⁹ 中国电子技术标准化研究院. 数字孪生应用白皮书[R]. 2020-11-18.
<https://www.cesi.cn/images/editor/20201118/20201118163619265.pdf>



来源：公开资料整理

图 9 研发设计环节国内外主流软件使用差异对比

相对地，国内航空产业数字化工具“多品牌并存、多版本混用、多标准并行”特征较为突出，尤其在设计研发环节中工具呈分散化、碎片化特征。例如在国内航空装备制造一线，同一型号飞行器的研发生产为支撑不同场景的功能需求，常常需要组合运用多个厂商推出的不同版本的软件工具，使“工具链割裂”问题表现相对突出。面对如此复杂数字化研发需求时，高集成、一体化、标准统一的软件生态优势便十分凸显²⁰。

这种分散化的数字技术与数字软件布局，直接导致了本土企业在与国外集成化、一体化程度高的厂商竞争时常处于劣势地位，且国内厂商因接口标准分散、环境适配成本高昂，导致在建设过程中面临时间与人工成本的双重负担。

通过对航空数字化服务厂商调研，可以了解到，在实际支撑建

20 中国航空研究院. 航空工业数字化转型白皮书[R]. 北京: 中国航空研究院, 2022-07-15: 8-9.

设过程中，环境兼容性适配、相关接口、数据互通工作也通常由支撑服务商来负责，此类工作需要投入大量时间和人工成本，有时甚至会超过建设项目本身的投入成本，且基本无法实现在其他建设支撑项目中直接进行复用。

因此，国内航空企业出于对未来生产计划、业务发展与成本控制等综合因素的考量，会优先选择与已经开发出完整集成性软件生态的国外厂商进行合作，直接使用其已成套的系统与软件。

3. 生态协同挑战

在航空产业加速数字化的背景下，海外航空产业凭借其长期的技术积累、标准化共建和跨行业技术巨头的深度融合等优势，在当今世界航空产业格局中展现出强大的竞争力。

在行业规范方面，国际航空运输协会（International Air Transport Association, IATA）等国际组织主导制定了全球性的行业标准²¹，确保了航空公司、机场、空管、地服等所有参与方之间的数据能够无缝互通。其次，国际航空电信协会（Societe Internationale De Telecomm-unications Aeronautiques, SITA）等全球性 IT 服务商则提供了支撑这种互通的一体化平台²²。并且，微软（Microsoft）、亚马逊（Amazon）等非航空背景的科技巨头，凭借其在云计算、大数据和人工智能领域的领先能力，深度赋能航空运营的预测性维护、

21 例如,IATA 在 2008 年发布的地面服务全球审计标准（IATA Safety Audit for Ground Operations, ISAGO）、2018 年发布的 ONE Record 数据共享标准和 2024 年发布的飞机运行数据使用原则（Aircraft Operations Data Principles Agreement）等文件中，均规定了航空企业统一的数据语义、开放接口协议与强制合规审计等要求。

22 具体信息详见 <https://www.sita.aero/>。

数据分析和优化²³，推动了“按小时计费（Power-by-the-Hour，PBH）”²⁴等创新商业模式的实践²⁵，使得整个生态系统能够实现跨组织、跨平台、跨数据源的深度协同和全局优化。

相较之下，中国民航运营产业的数字化转型当前虽处于快速成长期，在空中交通管制和地面保障智能化等领域实现了技术突破，但在生态协同、合作共建模式上，仍处于持续探索之中。

一方面，横向的、跨组织的数据共享和流程自动化存在壁垒。

各航空企业（航司、机场、空管等）多为“垂直整合”结构²⁶，信息数字化多以内部系统建设为主，民航数据“分属不同行业、不同部门、不同系统”，具有“多头管理、多元产生、多地存储”特征，“统一管理、数据共享和合作共通仍有不少困难”，存在固有的“数据体系庞大、多头产生和分散独立”等难题，成为了制约智慧民航生态协同的关键瓶颈²⁷。

另一方面，国内大型科技厂商参与深度不足，与航空企业的协同效应尚未完全显现。互联网企业目前更多扮演基础设施和通用技术赋能者的角色，直接深入到航空运营核心业务流程，在提供行业级解决方案方面发挥的作用相对有限。上述问题使得中国民航在实

23 Amazon Web Services.Strategic Analysis of Global Connected Car Ecosystem[R].Seattle:AWS,2022:7-9.

24 航空产业常用的一种发动机全生命周期服务模式，在1990年被罗罗公司（Rolls-Royce）首次系统化应用。其核心商业逻辑为：运营商不再一次性购买发动机或备件，而是按发动机实际飞行小时支付固定费率，由服务提供商承担日常维护、修理、备件供应及意外故障的全部责任，从而实现成本可预测、风险可转移。

25 Microsoft News. Microsoft and Rolls-Royce collaborate to offer advanced operational intelligence to airlines [EB/OL].2016-04-24.

<https://news.microsoft.com/source/2016/04/24/microsoft-and-rolls-royce-collaborate-to-offer-advanced-operational-intelligence-to-airlines/>.

26 这种“垂直结构”具体表现为航司、机场、空管三大运行主体“数据系统呈烟囱式，数据整合率低”，航班运行缺少整体视角，整个产业在“航司-机场-空管”全局视角下仍需加强建设，详见中国民航资源网《航空公司运控系统智能化转型探究》.2024-04-08.

27 中国民航网. 加快推进民航业数字化建设的思考 [EB/OL].(2024-09-03)[2025-07-28]. 详见 http://www.caacnews.com.cn/special/7848/8163/ssmh/202409/t20240903_1381112.html.

现全产业链、全要素的深度协同和生态集群的规模化赋能方面，仍面临现实挑战。

三、航空产业数字化转型启示——平台化与生态重塑

鉴于航空产业链条冗长、参与主体多元、技术标准严苛等固有特征，传统信息化建设模式已难以支撑行业高质量发展的现实需求²⁸。破解数据壁垒、构建高效的产业协同生态，已成为提升航空产业整体系统效能的关键课题。如何在发挥既有资源积累优势的基础上，进一步提升产业内部资源配置与业务协同的效率，从而带动全产业链产能向高质量跃升，成为当前亟需探索的方向。

在研究对比海外航空产业数字化发展路径，并结合我国航空产业实际现状后，本文尝试提出一种创新建设模式——该模式超越以实体技术平台集成为核心的传统思路，转向以协同机制为牵引，通过构建开放统一的数据交互标准与业务流程规范，实现产业链各环节资源的柔性对齐与高效联动。其本质在于构建一种以机制为核心的“虚拟化数字平台”运作方式，以较低成本与更高灵活性，推动产业协作向更深层次演进，可称之为航空产业数字化转型的“平台化建设”路径。

²⁸ 典型案例为中航工业集团沈阳所的数字化改造。在新一轮科技革命与产业变革的浪潮中，跨部门协同效率低、数据孤岛难打破、智能技术发展慢等问题频发，助推了沈阳所探索并实践平台化协同的数字化研发体系，详见 https://m.thepaper.cn/newsDetail_forward_31088123?Utm。

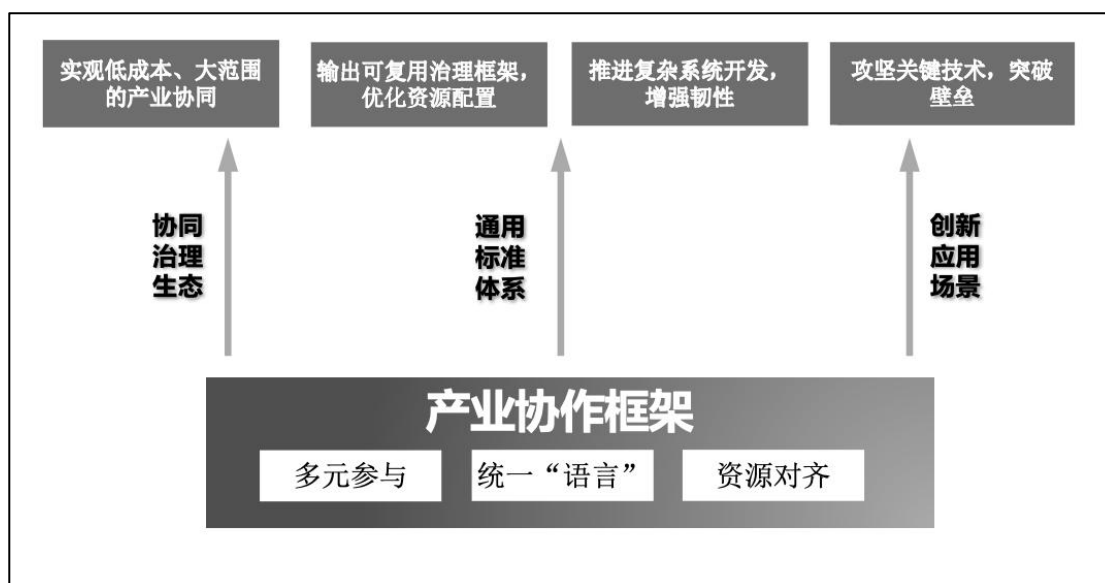


图 10 “平台化”协作机制示意图

“平台化建设”旨在构建一套获得多元主体广泛认可的、具备高度通用性的产业协作框架体系，该框架充分激发各方基于自身生态位的资源优势，系统整合标准打通、政策预研、区域共建与技术共享等优质要素，全方位推动航空产业系统资源的有效对齐。在保留传统平台统一性与便捷性优势的基础上，该模式进一步突破实体技术平台的物理与功能局限，从而实现更深层次、更具弹性的产业协同。其实施路径可依托以下核心机制展开：

其一，构建开放多元的协同治理生态。该生态体系以产业链链主及核心企业为主导，确保平台建设紧扣产业实践并具备可操作性。同时，广泛吸纳体系内外的研究机构、高校及第三方通用技术研发力量，共同参与前沿技术探索与共性技术攻关。此举旨在突破原有研发体系的封闭性，显著提升航空技术在前瞻性、领先性与完备性方面的整体水平，并为推动更广泛的技术标准与路径预研奠定坚实基础。

其二，建立统一规范的通用标准体系。通过制定并完善航空数字化建设的通用接口、数据与业务标准，为产业链上的各类参与主体提供清晰、一致的协作基础。该标准体系的核心功能在于高效对接供需双方，降低协同成本，并支撑各类资源在产业生态内实现快速流转与精准配置。

其三，打造开放赋能的创新应用场景。积极引入原体系外的优秀科技企业，通过开放技术验证、试点示范等数字化实践场景，为其参与航空数字化建设提供入口。上述举措不仅能为航空产业注入前沿技术创新活力，也有助于培育一批具有国际竞争力的中国科技企业，形成产业与科技良性互促的发展格局。

“平台化建设”模式在以下关键领域更能发挥出它的系统性、灵活性等优越性，有助于在全球竞争中构筑差异化优势：

（一）攻坚关键技术与核心场景，突破国外技术壁垒

“平台化建设”模式有助于汇聚跨行业、多领域的技术资源与能力优势，促进知识交叉与科研思路的拓展，从而提升关键技术与核心场景的研发效率。在此基础上，平台能够推动技术融合与协同创新，集中优势力量突破发动机仿真、适航建模、飞行控制算法等高壁垒核心场景，通过国产工业软件及自主可控工具链的持续迭代，显著增强我国在高端技术领域的自主可控能力。

（二）推进复杂系统一体化开发，增强产业链韧性

“平台化建设”模式通过聚合工具链提供方、需求方、建设方以及标准推进机构等多方主体，促进系统版本统一与接口规范一致，

实现复杂系统的高效集成与协同开发。不仅有助于优化航空软件等关键领域的供应链管理，还能显著增强产业链在面对外部冲击时的稳定性和韧性²⁹。

（三）推动协同标准与规则体系建设，夯实平台化建设的生态基础

平台化建设推动形成统一、开放的技术标准与协作机制，为跨行业融合发展提供可复用的制度经验和治理框架。此类机制不仅有助于优化资源配置效率，减少重复开发、接口割裂带来的高昂成本，也为推动中国数字经济实现结构优化与高质量发展奠定坚实基础。

（四）加速集群资源整合，形成区域特色产业生态

“平台化建设”背景下，区域层面的产业资源整合成为了航空产业重点方向之一。通过在重点航空产业集聚区推动科研机构、主机厂、供应链企业以及软件厂商等多元主体的深度链接，逐步构建具有区域辨识度的特色生态。

平台化协同强调“最低成本”实现“最大范围的产业协同”，与产业集群协同生态的核心诉求高度契合。其中，沈阳航空产业集群具有一定借鉴参考意义。其以沈飞等链主企业为核心，通过“头部企业带动形成配套园区”模式，带动地方 200 余家企业协同，先后培育出 19 家国家级“小巨人”企业。配套企业实现订单同步与进度追踪，物流成本降低，生产响应速度提升。2024 年产值突破 1100

²⁹ 中国商飞自 2018 年中美贸易摩擦初期起，便开始了关键技术领域的长期布局，启动“双供应商”策略，在整机系统集成、气动设计、航电系统等核心能力方面，依托“平台化建设”路径，将控制权牢牢把控在自己手中，详见 https://www.sohu.com/a/900849556_121617546。

亿元，预计 2030 年达 2500 亿元。在人才引进上，沈阳市政府实施“兴沈英才计划”，汇聚大量航空专业人才，形成了高密度的人才网络。

沈阳经验表明，链主企业与地方生态的深度融合，可有效破解数据分散与协同不足的难题，为全国航空产业集群建设提供了可复制标杆³⁰。

四、航空产业数字化转型关键场景及典型案例

基于前期调研成果的积累，本文从技术深度与应用广度两大维度出发，系统梳理并提炼出航空领域数字化建设中具有代表性的典型场景。在此基础上，进一步遴选出若干在相关场景中标新突出的先进企业案例，结合其在数字化转型中的优秀实践与行业示范价值，展开深入分析与探讨。

本部分的案例选取不仅注重企业在技术应用方面的先进性与成熟度，同时也考量了其解决方案的行业适配性、可推广性以及产业生态构建的带动作用，旨在为航空产业各类主体的数字化实践提供可借鉴的示范经验，并为未来航空领域技术突破、平台化建设与生态化发展提供具有现实参考意义的实践路径和方法支撑。

（一）工厂工艺仿真设计

工厂工艺仿真设计领域精准反映了航空制造的高精度要求与复

³⁰ 更多沈阳航空集群案例相关信息，请查阅

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1826703571884556418&wfr=spider&for=pc>。

杂流程，可以提前验证工艺方案的可行性以避免干涉风险，从而减少物理试错带来的成本浪费与周期延误。此外，工厂工艺仿真技术也可针对质量管理体系（QMS）与故障预测与健康管理（PHM）领域，优化无损检测方案、预测设备故障，提高缺陷检出率和减少非计划停机；在数字化协同与新机型研制中，实现设计制造协同验证、提供虚拟培训，缩短研制周期和培训时长。

仿真设计在航空装备制造中已经实现了从“辅助工具”到“核心能力”，从“事后验证”到“前瞻引领”的根本性转变。它不仅是降低成本、缩短周期的技术手段，更是驱动创新、确保安全、提升竞争力的战略基石。当前，不具备高水平仿真设计能力，几乎就无法研制出具有国际竞争力的先进航空器。

1. 案例名称

航空机箱力学振动仿真分析助力国产高端航空装备研发

2. 案例建设方

重庆励颐拓软件有限公司（励颐拓）致力于开发完全自主可控、具有国际先进水平的高端通用 CAE 仿真软件，并协助不同领域用户开发服务于其核心产品的专用仿真软件。

3. 案例建设需求方

国内某航空电子机箱制造厂商

4. 案例实施背景

航空装备，尤其是机载电子设备，在飞行过程中承受极为复杂

严苛的力学环境，包括发动机产生的高频振动、气流扰动引起的随机振动、起降阶段的冲击载荷以及持续的高过载加速度。这些复杂工况会导致电子机箱及其内部精密元器件发生结构疲劳、螺钉松动、焊点开裂或器件引脚断裂等失效，严重威胁飞行安全与任务可靠性。传统的“设计—试制—试验—改进”研发模式存在以下明显局限：

一是成本高、周期长。物理振动试验依赖昂贵设备与样机重制，失败后需重新试制样品，时间与经济成本高昂。

二是风险大、洞察弱。试验一般在研发后期进行，问题发现滞后，且难以直接获取机箱内部关键位置的应力应变状态。

三是轻量化难度大。航空装备对重量要求极高，传统经验设计难以在安全与减重之间取得最优平衡。

因此，采用仿真驱动的虚拟验证手段，在设计阶段提前预测结构力学行为、识别潜在薄弱环节并优化结构方案，成为了提升航空机箱设计质量、缩短研发周期与实现轻量化设计的必然选择。

5. 案例实施路径与成效

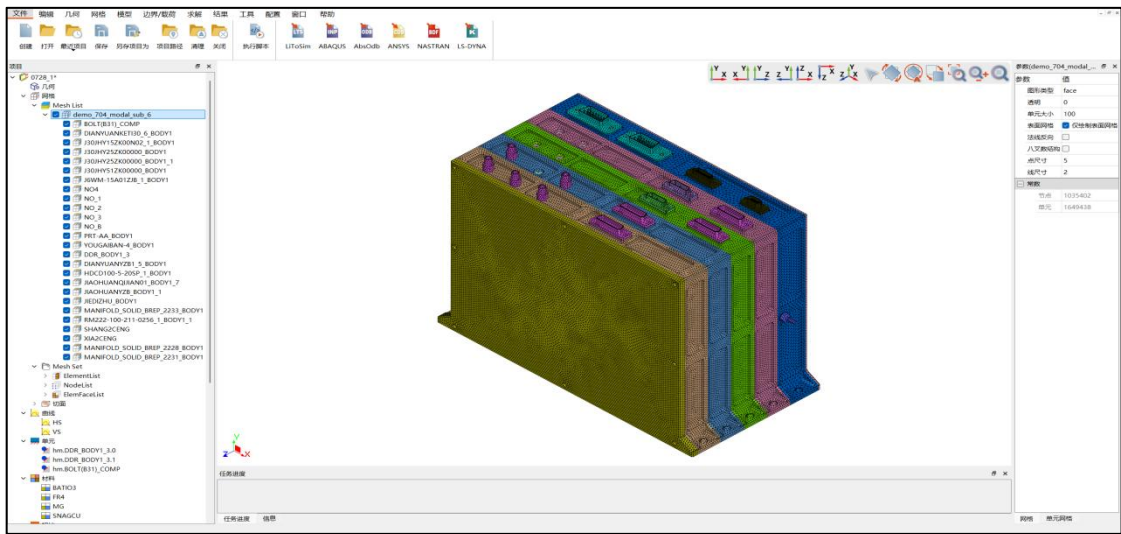
（1）模型建立与简化

依据三维数模，建立机箱结构框架、盖板及主要安装特征模型。对印制板组件（PCBA）进行合理简化，以反映整体刚度与质量分布。材料方面，严格按设计输入赋予镁合金 ZK61M 框架、盖板及印制板等部件的弹性模量、泊松比和密度等参数。

（2）网格划分与边界条件设置

采用高精度六面体网格划分，在应力集中区域进行网格加密以

兼顾计算精度与效率。边界条件严格模拟产品通过螺钉与飞机骨架刚性连接的真实安装状态。



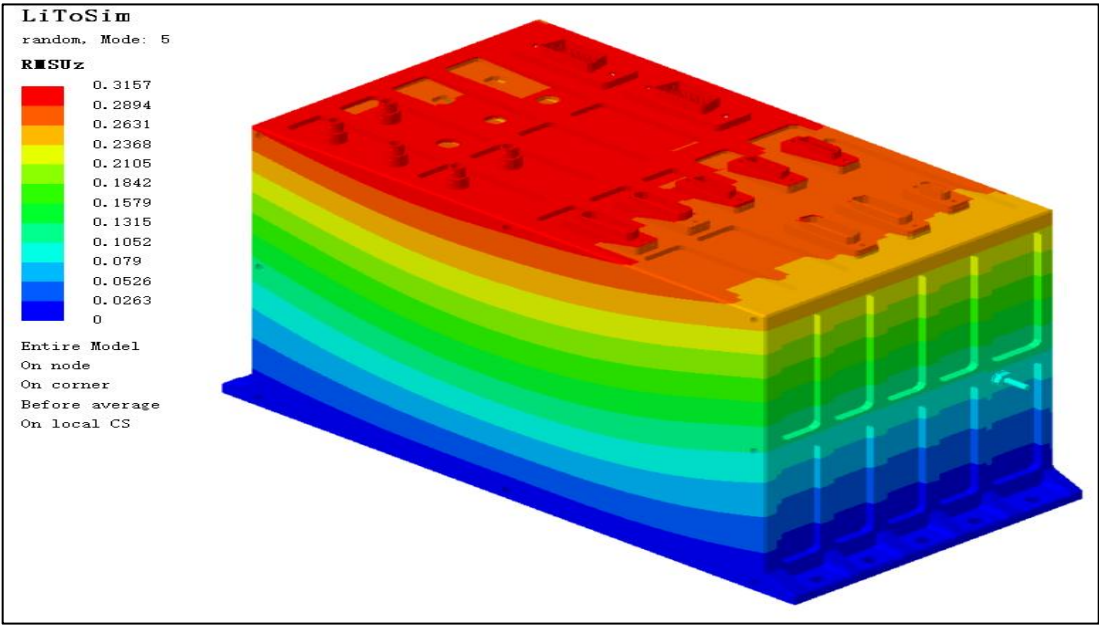
来源：励颀拓

图 11 励颀拓仿真设计操作界面

(3) 仿真工况计算与分析

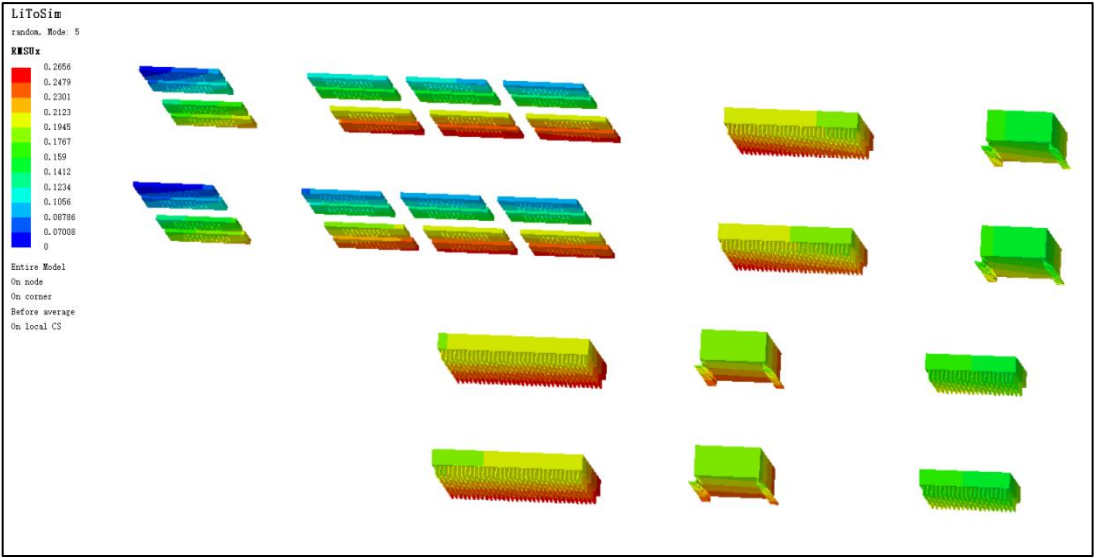
在仿真工况计算与分析阶段，项目针对航空电子机箱在不同载荷条件下的受力特性与动态响应进行了系统性研究。通过模态分析确定机箱的固有频率与振型，避免与外部激励产生共振。随后依据规定载荷开展加速度仿真，评估结构在持续过载条件下的强度与变形表现。在此基础上，通过冲击响应谱分析模拟瞬态极端工况下的抗冲击能力，并利用随机振动分析根据功率谱密度（PSD）曲线计算机箱在宽频随机激励中的应力与位移响应，识别潜在薄弱区域。最后，通过正弦扫频分析在设定频段内定位主要共振点，评估机箱在共振条件下的动态响应特性，从而系统性完成整机的力学振动行为评估。

通过多工况仿真计算，全面揭示了机箱在复杂振动环境中的力学行为特征，为后续结构设计优化提供了量化依据和科学支撑。



来源：励颐拓

图 12 仿真计算结果 A



来源：励颐拓

图 13 仿真计算结果 B

（4）结果评估与优化设计

本项目在实施后取得了显著成效：**设计质量显著提升**。在物理

样机制造之前，提前发现并改进了原设计中的潜在薄弱点，可提升产品首轮实验通过率；**研发成本与周期大幅降低**。通过虚拟仿真替代了大量探索性物理试验，将研发周期缩短了约 40%，节省了可观的试验费用和样机成本。

该项目实现了“国产航空装备+国产工业软件”的深度融合，验证了国产 CAE 工具在解决高端装备核心设计难题中的工程能力，对推动航空产业链自主化、强化供应链安全具有重要的示范意义。

通过将仿真分析前置并融入设计迭代环节，项目突破了传统经验设计的局限，体现了“基于模型的系统工程（MBSE）”理念³¹，为提升高端装备研发的数字化、智能化水平提供了可复制的实践路径。

（二）算力调度

在航空领域，复杂系统的设计研发周期长、成本高、试验风险大。近年来，支撑航空工业仿真的超智算融合平台，在航空数字化体系中逐渐扮演着重要角色。它不仅是支撑飞行器研制数字化的基础工具平台，更是推动全产业链数字化转型、缩短研发周期、提升设计水平的关键环节。

1. 案例名称

以超智算融合平台支撑航空工业仿真

2. 案例建设方

³¹ MBSE 是一种系统工程方法论，它强调通过构建和使用系统模型来支持整个产品生命周期的各个阶段（包括需求定义、设计、验证和维护）。与传统的系统工程方法相比，MBSE 更加注重模型在设计和决策中的作用，而不仅仅依赖于文档和手工分析。

是石科技（平湖）有限公司依托国家新一代人工智能创新平台的算力运营经验，以“高性能计算为基础、并行优化技术为内核”，率先推出一定推广价值的超智融合的计算服务平台；以“HPC+AI”领先技术，打造领先的算力基础设施。

3. 案例建设需求方

某重点高校航空航天学院

4. 案例实施背景

在飞行器外形气动设计、高超音速流动模拟、气动加热分析等情景下，经常需要流体模拟需求，从而使得计算流体力学（CFD）软件面临了巨大的计算性能瓶颈。随着计算问题的复杂性从单一流体模拟扩展到多物理场耦合（如流固耦合、多相流、化学反应等），就会面临诸多行业难题：一是计算任务中涉及庞大的数据处理和复杂算法的实现；二是对硬件性能的要求也急剧提高。

U2NITs（Unstructured unsteady Navier-Stokes solver）主要应用领域包括高超声速飞行器外流模拟、发动机进气道流动模拟，适用于高超声速、大分离、含转捩的非定常精细模拟。

平台已部署面向通用 CFD 模拟的高性能工具，支持复杂几何下的流场分析和多物理场耦合计算。其核心功能包括非结构化网格处理、高效数值求解、CPU-GPU 异构并行计算、以及全流程前后处理工具。利用 GPU 来快速加速 CFD 模拟时间，从而满足工业即时需求，缩短研发周期。

根据研发实践，一些工业软件尝试通过多核 CPU 并行化或服务

器集群扩展计算能力，但硬件成本和能耗问题也随之增加。为应对这些挑战，超智算融合平台可以提供充分的 GPU 资源：利用 GPU 的大规模并行计算能力来加速 CFD 求解过程。GPU 具有数千个计算核心，可以在数值计算中进行密集型浮点运算，因此非常适用于 CFD 中的网格处理和迭代求解任务。通过将 CFD 求解器的计算密集型部分(如解线性方程组或流场迭代)从传统的 CPU 转移到 GPU，CFD 软件可以实现数倍甚至数十倍的计算效率提升。

5. 案例实施路径与成效

在超智算融合平台上，非结构化计算流体力学软件 U2nits-GPU 主要包括 CPU 和 GPU 运算模块。CPU 负责数据和网格的初始化，网格的读取与划分，部分 MPI 层级间的通信，并将计算所需数据拷贝给 GPU，处理函数上下文之间的逻辑连通；GPU 负责流场迭代下的平均流残差计算、时间步长的求解、平均流 jacob 和湍流 jacob 的计算以及湍流残差的计算。GPU 计算后的数据将回传给 CPU，进行后处理得到所需的流场数据，并输出流场文件。CPU 负责程序控制与 IO 工作，GPU 负责 CFD 计算的模式可以有效缩短整体计算时间，降低计算成本，充分发挥 GPU 的优势，构建高效的异构计算流程。

在 GPU 执行计算模块时，通过对不同计算任务进行针对性的任务分解和负载均衡策略，保证可以将 GPU 的所有计算核心的同时工作，显著的提升计算效率。此类平台可以将 GPU 的硬件资源进行充分利用，针对存在全局访问密集，数据复用严重的求解部分，使用共享内存代替全局内存的多次访问，提高了程序的整体吞吐量。

因超智算融合平台可同时提供大量算力资源，启用大规模模拟时，在通信上会普遍使用 NCCL 进行数据通信。NCCL 是 GPU 间的数据通信库，可以查找出带宽最高的物理链路从而进行 GPU 间的数据通信，通过使用 NCCL 通信库，大幅度提高了并行效率。基于 NCCL 支持非阻塞通信，通过在关键算法上进行异步通信。

在超智算融合平台上，非结构化计算流体力学软件 U2nits-GPU 在多显卡上的并行效率维持在一个较高的水平，16 卡相较于单卡可维持在 85% 以上，单卡计算性能约等于 30 核心 CPU。显著的加快了软件的求解能力，从而大幅度降低 CFD 求解器模拟时长。

在成效方面，是石科技通过架构、算法与 GPU 硬件机制的深入适配，显著提升通用非结构 CFD 求解器的精度、效率与适应性。面向极大规模网格（百万到 2000 多万）的求解具有卓越性能表现。通过标准化、平台化与易用化设计，让其从科研工具真正走向航空工程应用。

（三）生产计划与排程

生产计划与排程（Advanced Planning and Scheduling, APS）的核心价值在于解决传统生产计划中“产能平衡难、交期预测不准、资源浪费严重”问题，通过实时数据整合与智能运算，实现生产计划的最优化配置，提升企业交付能力与运营效率。

在航空数字化转型中，生产制造中的生产计划与排程是尤为重要的领域。航空产品零部件繁多、工艺复杂且交付周期严格，传统人工排产易出现资源调配失衡、生产衔接不畅等问题，导致生产延

误。上述问题出现后，又会直接导致信息传递滞后，使企业难以实时掌握生产进度和异常情况，影响生产效率和产品质量稳定性。同时，生产计划排产一旦出错，其消极影响会传导至供应链管理中。航空供应链涉及全球众多供应商，协同合作的难度本身较大，如果在生产计划与排程端出错，则必然会使得协同效率降低，无法实现高效的数据流通和业务协同，从而制约产业整体效率提升。

因此，解决生产计划与排程领域的问题对整个航空产业都具有重要意义。

1. 案例名称

以智能排产为核心推进航空企业全流程数字化转型

2. 案例建设方

上海黑湖网络科技有限公司为制造企业提供数字化解决方案的工业软件服务商，为大中型企业提供计划排产、生产执行、质量管理、物流管理、物料管理和数据分析等解决方案，

3. 案例建设需求方

国内某航空航天产业链中的重要链上企业

4. 案例实施背景

上述客户作为国内航空航天制造产业链中的重要链上协同企业，长期为主机厂及多家一级供应商提供关键零部件和子系统装配。该企业所在的供应链体系已较为完善，但由于航空制造项目的高复杂度和长周期特性，企业在供应链协同、生产过程透明化、质量管控

和设备管理等方面仍存在明显短板，具体表现为：

供应链管理能力不足。部分关键部件（如钛合金结构件、特种紧固件）高度依赖少数专业供应商，供应商议价权强，交付周期不稳定。

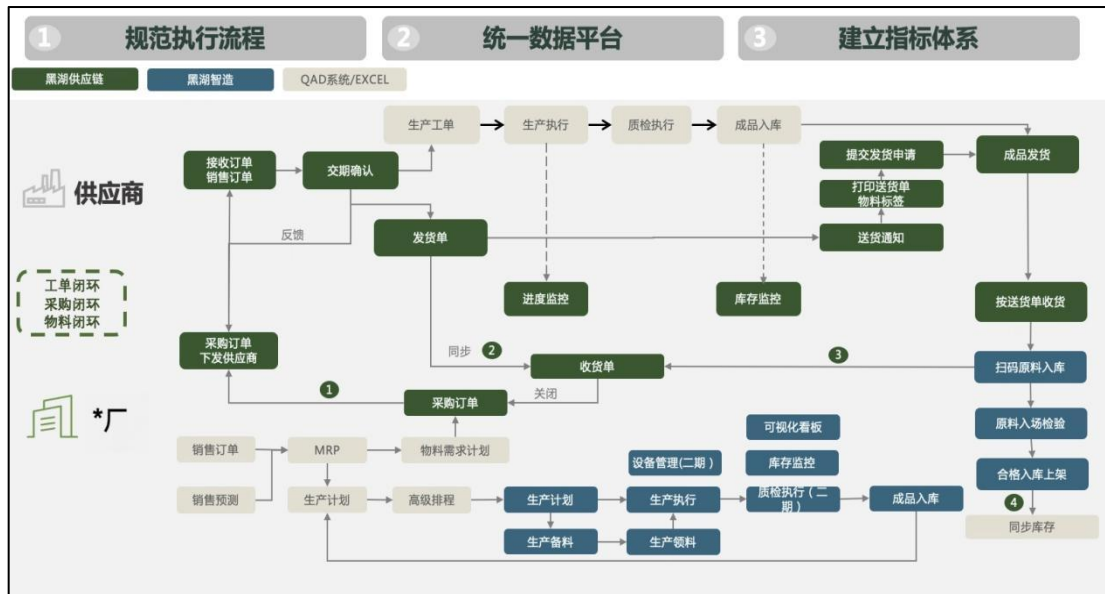
客户需求响应滞后。在机身框架、发动机部件等生产过程中，生产进度与库存数据需要依赖人工统计，数据更新滞后 1-2 天。采购部门无法根据实时库存调整补购计划，仓储部门因数据不准频繁出现“账面有货、现场缺货”的情况，关键部件缺失直接影响交付周期。

难以满足审厂合规要求。航空客户对审厂的要求日益严格，需要工厂能够展示从原材料批次、生产过程到质检结果的全过程可追溯性。但客户现有信息化系统功能有限，难以满足透明化生产与质量记录完整性的要求。

内部管理流程不规范。物料收发与批次管理缺乏统一标准，部分数据采集依赖人工填报，导致信息不一致、流程不闭环，给质量管理与责任追溯带来风险。

5. 案例实施路径与成效

以“供应链协同—生产透明化—质量管理—设备管理”四大核心链路为主线，为企业打造了贯穿全流程的数字化转型方案：



来源：黑湖科技

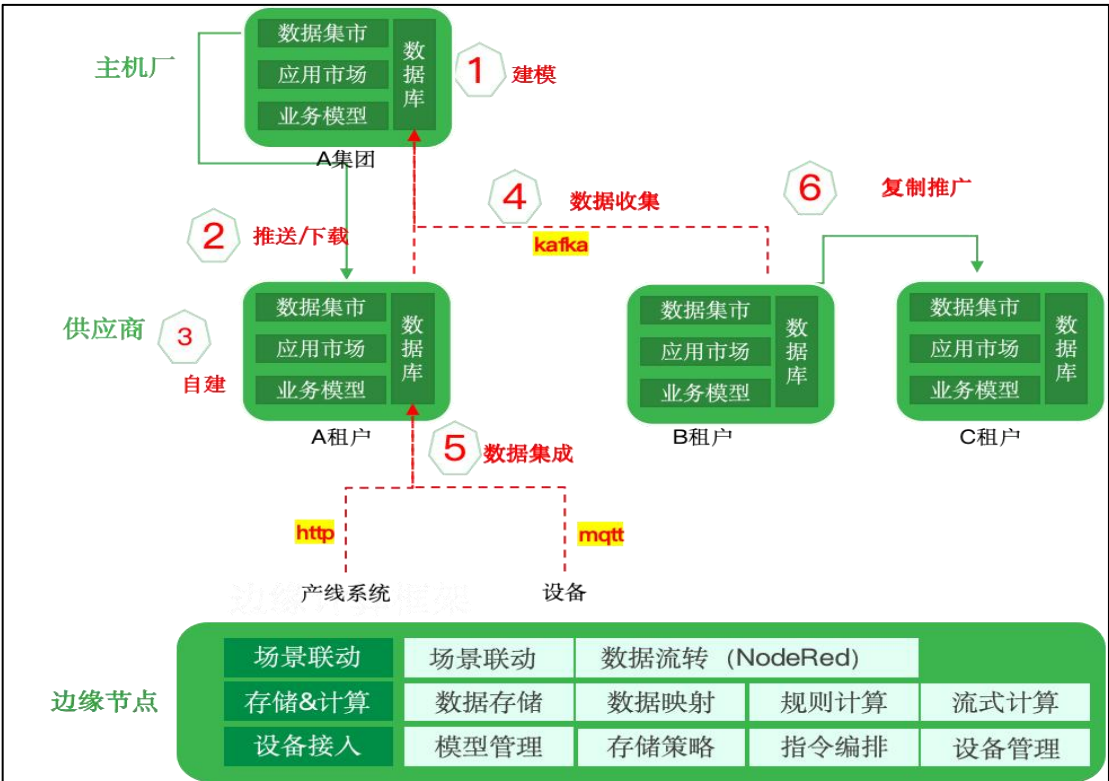
图 14 数字化生产执行流程

(1) 供应链协同优化

在云原生环境下搭建统一架构平台，构建了覆盖生产、质量、仓储与设备管理等核心环节的制造业务模型规范及标准数据模型，为后续的系统集成与协同奠定技术基础。在此基础上，主机厂将经过验证的标准化应用与数据模型通过平台推送至各供应商，供应商可在统一框架下快速接入系统或进行个性化功能扩展，从而确保与主机厂在数据结构与业务流程上的协同一致。与此同时，平台通过统一的数据接口实现跨工厂的数据汇聚，连接供应商产线MES、LES及IoT设备，依据预设规则对数据进行采集、加工与比对，使得生产与质量数据可追溯、可汇总、可分析。

此外，企业依托平台建立了供应商协同与考核体系，通过设置交付准时率、批次合格率、响应时效等关键指标，强化对供应链节

点的动态管理与绩效评估。该体系的建立使主机厂能够实现对供应商的分类管理与优选机制，促进供应链整体协同效率的提升。



来源：黑湖科技

图 15 “智造”平台数据流转机制

（2）生产过程透明化管理

一方面，引入自动排程与人工校验机制，系统统基于产能与工艺要求自动生成生产计划，并支持人工微调与校验，确保计划与实际产能相符。另一方面，实现二维码全流程应用，通过二维码与移动端应用实现生产进度的实时采集与展示，总装计划可灵活调整，满足客户动态交付需求。系统全过程透明化展示工序操作、质检结果及物料批次流转信息，为客户审厂提供完整的数据链路，满足合规性要求；跨部门协同也得以打通，销售部门可以快速联动生产与

采购，及时核算交付周期，仓储部门可实时掌握库存动态，避免关键部件缺失。

（3）生产排程与执行管理

系统基于产能与工艺要求自动生成生产计划，并支持人工微调与校验，确保计划与实际产能一致；任务通过 APP 推送至生产主管确认，同时生成纸质工单流转卡，实现操作可视化；二维码在全流程应用，一线员工扫描工单即可获取任务详情并反馈执行结果，物料在发货、收货、调拨等环节均通过扫码记录，实现全流程透明可追溯。

（4）质量管理

在质量管理环节，企业通过数字化系统实现了质检方案、任务执行、数据追溯与异常管理的全面升级。首先，在质检方案管理方面，系统支持入厂检、出厂检、首件检及抽检等多类型质检方式，覆盖全检、比例抽检、固定抽检与自定义抽检等多种模式。各质检方案均与物料数据及工艺路线直接关联，确保检验标准与生产工艺保持一致，实现了检验环节的标准化与流程化。其次，在质检任务执行方面，系统针对固定频率检验可自动触发并推送任务，针对巡检与抽检场景则允许质检员按需灵活创建，显著提高了检验计划的响应速度与执行效率。

在数据管理层面，所有质检数据均实现实时同步与系统化存储，用户可根据任务编号、状态、工位或物料等条件进行快速检索，Web 端支持全生命周期履历查询，确保包括钛合金机身梁、发动机叶片

等关键部件的正向可追溯性。同时，系统引入异常管理与软安灯机制，预设材料缺陷、装配偏差、设备故障等多类异常类型，一旦发现即自动触发事件并通知相关人员。通过这一体系建设，企业的质量管理实现了“全流程可追溯、异常快速闭环”，显著提升了问题定位与处理效率，全面满足航空航天制造的高标准质量控制要求。

通过项目实施，企业实现了供应链透明化、生产计划可控化、质量追溯合规化及设备运行高效化，整体运营效率与交付可靠性显著提高，符合航空航天制造的高可靠性与高合规标准要求。

（四）航空供应链管理

当前，我国正深入实施制造强国、网络强国、国防和军队现代化三大战略，《“十四五”智能制造发展规划》明确提出“推动产业链供应链数字化转型，增强产业链韧性与安全水平”。航空产业作为高端装备制造的核心赛道、国防安全的重要支撑，其供应链协同能力直接关系到国家战略落地。一方面，新型号装备研制、批产交付需高效供应链保障；另一方面，实现关键技术的自主可控与本土方案适配，必须依赖供应链上下游企业的深度协同。

1. 案例名称

以供应链协同数字化创新支撑航空产业高质量发展

2. 案例建设方

中航国际金网（北京）科技有限公司（中航金网）作为中航工业集团旗下数字化领域创新型企业（工信部工业互联网试点示范企

业），以“数据贯通、管理标准化”为核心理念，逐步完成了从电子化采购到智能供应链的体系升级，构建起全链条、跨网络、智能化的供应链协同数字化体系。2025年9月，中航金网入选工信部“制造业数字化转型促进中心”建设主体。

3. 案例实施背景

航空制造业供应链系统具有层级复杂、主体多元、保密要求高等显著特点。主机厂及核心配套企业通常作为“系统集成商”，将设计、生产等环节外包给多级供应商，形成“主机厂—一级供应商—二级供应商—N级供应商”的复杂供应网络。与此同时，国家对军工领域提出“安全保密、自主可控”的严格要求，进一步加剧了供应链协同的难度。目前行业面临以下三大核心痛点：

首先，信息孤岛阻碍协同链路。航空供应链中各企业信息系统相互独立，关键数据无法畅通共享，产品质量问题、设计更改和计划调整等关键信息传递滞后，导致整体供应链相应迟缓，难以应对市场波动和突发情况。

其次，传统人工协作模式效率低下。多数企业仍依赖人工邮件、电话以及线下会议等方式进行信息传递，导致履约进度跟踪困难、质量问题难以追溯，随着型号研制周期缩短和批量生产任务增加，人工模式已无法满足高效协同的需求。

最后，高保密要求与高效协同之间存在矛盾。航空产业涉及大量涉密信息，供应网络复杂且链条长，配套关系多样，传统方式难以在保障安全的前提下保障跨企业、跨密级的数据互通效率，严重

制约了供应链的快速响应能力。

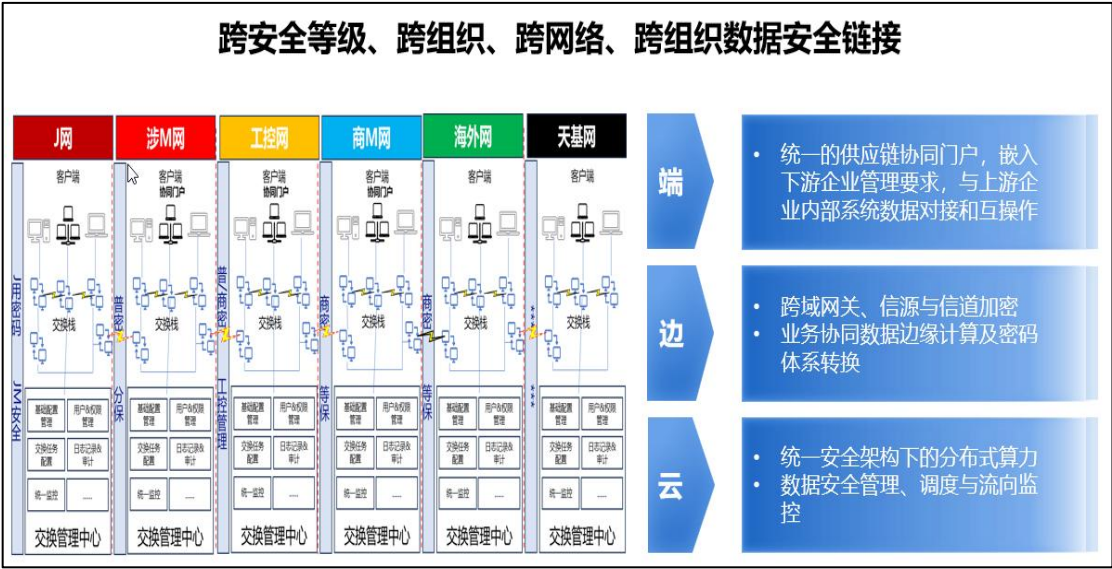
4. 案例实施路径与成效

针对以上三大核心痛点，中航金网以数据贯通和智能协同为主线，构建了涵盖技术架构、协同机制与资源管理的数字化解决方案：

(1) 构建驱动航空供应链协同的核心技术能力支撑体系

1) 搭建航空涉密领域跨网络安全协同技术架构

中航金网构建了以“采购企业内网—商网—供应商内网”三级架构为核心，并融合天基网、商密网、工控网、涉密网及海外网等多类异构网络的跨网数据安全交换体系。该体系通过“端-边-云”协同机制，系统化处理跨网络、多密级的数据安全交互与业务协同难题。



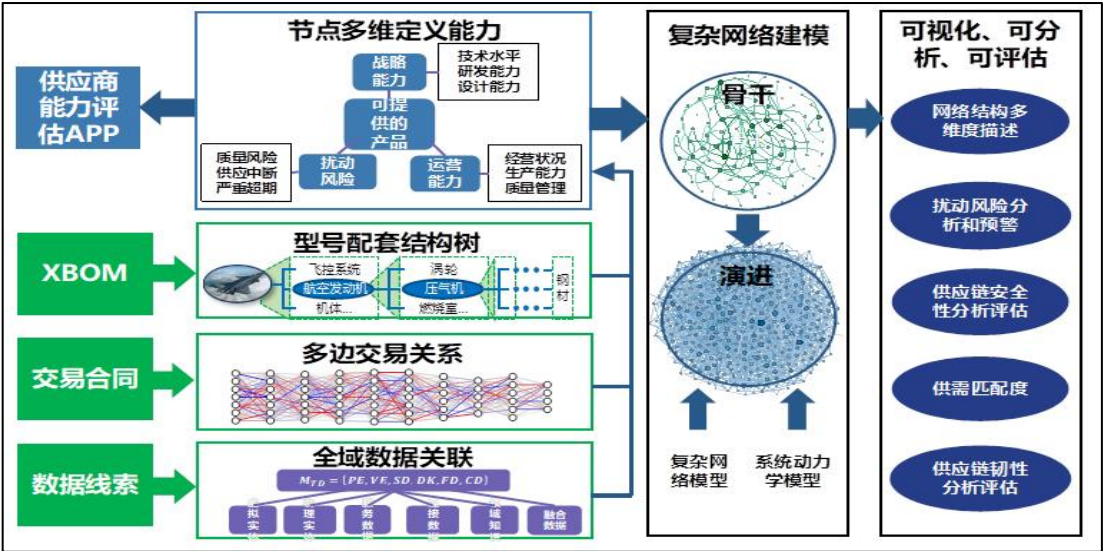
来源：中航金网

图 16 数据安全交换环境

2) 构建航空装备供应链复杂网络模型

为提升航空装备供应链的透明度、韧性及风险预警能力，中航

金网基于复杂网络理论、系统动力学与数字孪生等技术，构建航空装备供应链复杂网络模型，实现“数据-要素-网络-应用”的全链条数字化映射与动态推演。



来源：中航金网

图 17 航空装备供应链复杂网络模型

（2）建立航空供应链管理全流程协同机制

发动机供应链存在“交付保障、风险防控、标准统驭、效率提升”的核心诉求，打造集团级统一供应链管理平台，推动航空产业供应链向数字化智慧形态升级。

1) 打造航空供应链“标准化、数据化、智能化”管理平台

中航金网通过数字化手段实现管理规范的刚性落地与全域统一。平台将供应链管理体系 50 余项核心体系文件与 200 余项关键业务流程以数字化逻辑精准固化，构建“系统引导+流程约束”的无感化合规运营机制，不仅大幅压缩员工熟悉体系的时间成本，更从源头消除理解偏差与执行离散性，实现主机厂、供应商之间质量标准、工

艺规范、管理要求的全域统一，显著降低因标准不一致而导致的协同与管理成本波动。

在数据方面，公司通过安全数据交换技术打通涉密与商密网环境之间的信息交互通道，并持续推进数据标准化建设，制定多项核心数据标准，构建统一供应商列表、产品目录基础数据库。

目前，集团与其直属单位的数据一致性已达 100%，已完成数万家供应商资源的标准化治理与集成。

在风险管控方面，中航金网搭建“集团决策层-集团业务管控层-直属单位执行层”三级可视化监控体系，集成几十家直属单位实时数据，设置数百余项风险监测指标，依托机器学习模型实现供应商风险的动态监测与自动预警。

2) 构建航空供应链全链穿透式跨主体协同体系

中航金网从统一入口与全流程协作两大维度推动航空供应链协同模式一体化升级。通过构建一体化供应链协同门户平台，全面覆盖供应链基础信息管理、采购需求与计划等核心场景，实现数万家供应商与集团及直属单位的跨组织高效协同。

(3) 落地航空电子采购业务的品类治理与资源管控

中航金网系统性地开展了品类治理与资源管控实践，以数字化手段推动供应链的标准化、可视化与风险可控。

在品类治理与商品标准化方面，中航金网构建了多维度物料知识库体系。基于此，公司建成覆盖刀具、金属材料、电子元器件等 8 大类的 70 万项标准商品库，部分品类标准化覆盖率超 95%，并同

步构建 50 万余项商品价格库。

在资源体系与全链管控方面，构建了规模化优质供应商资源池，累计汇聚 8 万余家供应商，其中包括近万家“专精特新”与超 2 万家高新技术企业。通过研发多套型号专属供应链穿透图谱，打通“产品-供应商”级次关联路径，可同时连接 10 级产品级次与 8 级供应商级次，实现 5 万家全级次供应商与 10 万种配套产品，动态展示供需关系与风险等级，助力供应链层级结构可视化、资源分布清晰化的实时可视化监控。同时，建立全流程风险监控体系，基于“实时监控-自动预警-分级处置”机制，2025 年 1-7 月发现风险 700 余项、阻断超 200 项、拦截近 40 家风险供应商，处置率达 100%，并依托重大风险影响分析模型生成应急预案，保障生产连续性与稳定性。

通过以上举措，不仅实现了航空供应商资源的规模化、精细化管理，更构建了“事前预警、事中阻断、事后应急”的全链条风险闭环管理体系，为航空装备产业链自主可控与安全稳定提供了坚实支撑。

（五）航空器维修辅助决策和故障预警

航空器维修辅助决策和故障预警在航空产业中所具有的不可替代性，主要源于航空装备的高复杂性、高风险性与运行环境的不确定性。航空系统通常由大量耦合的机电、液压与结构子系统构成，任何局部故障都可能在短时间内产生链式反应，进而影响整体飞行安全。然而，传统的基于人工经验与周期性检修的维护方法难以应对复杂系统的早期退化特征识别需求，也无法满足现代航空运营对

于安全性、可靠性与经济性同时提升的要求。

因此，构建高效、精准的维修辅助决策体系与提前识别潜在风险的故障预警机制，已成为航空工程技术发展的关键方向。维修辅助决策与故障预警技术逐渐成为航空公司保障安全、降低成本与增强运营韧性的核心能力。

1. 案例名称

以维修辅助决策和故障预警筑牢航空器安全防线

2. 案例建设方

三六零数字安全科技集团有限公司（360 数字安全集团）主要涉及数字安全领域相关业务。在安全方向，360 构建了以“看见”高级威胁为核心的数字安全方案，为城市、政企与中小微企业提供体系化安全能力。在人工智能方向，360 自研大模型为多个行业提供大模型解决方案。

3. 案例建设需求方

国内某大型航空公司

4. 案例实施背景

在航空维修业务持续数字化和智能化发展的背景下，企业的运营规模、机队复杂度与技术迭代速度不断提升，传统依赖人工经验的维修知识获取与流程管理方式已难以支撑高强度、高可靠性与高安全性的业务需求。伴随维修场景数字化转型趋势不断加强，企业级文件管理、知识管理与智能辅助系统的重要性愈加凸显，也暴露

出在效率、准确性与安全性方面的突出瓶颈。上述突出问题具体表现为：

传统飞机维修方案较为落后。当前数字化背景下，需要一个能够精准理解维修人员描述的问题，包括识别近义词与同义词的智能辅助工具。该系统应能根据问题内容，迅速提供故障诊断方案、分类及维修步骤。对于表述不清的问题，系统需具备引导式多轮对话功能，帮助明确问题，并在存在多个解决方案时，能提出优先推荐方案。

维修数据安全保障不足。航空产业日渐增长的数据量级对数据安全保障提出更高的要求。其必须确保故障解决方案与航空公司标准操作程序中的相应章节紧密关联，便于快速查找和验证。同时，系统必须实施严格的数据访问控制，防止通过角色设定或特定场景模拟等方式泄露敏感维修信息，维护企业信息安全。

维修知识库亟待持续优化与集成。构建一个动态的知识管理体系，能够基于维修实践中的反馈循环，不断丰富和更新知识库内容，降低当下人员流动带来的不断增加的知识传承风险。此外，该知识库需能与其它业务系统如数字孪生技术在故障预测与维修领域的应用相融合，提升整体维修效率与技术水平。

5. 案例实施路径与成效

（1）优化航空维修知识库

汇聚历史故障问题清单，波音系列的维修手册、73N，320 等型号飞机的关键词汇等文档统一集中到维修知识库中，作为大模型进

行统一训练的语料。

（2）更新航空维修业务助手

通过对维修知识库内容进行统一的训练，实现各类知识的向量化存储，并借助文档云大模型的版式分析能力，形成维修手册内容的提取及处理。借助智能体的词库检索及关键词提取，实现对用户提问的语义理解；借助混合检索及重排（**Rerank**）等策略实现召回率提升到 90% 以上。满足维修工程师针对各类型的故障通过文字描述，快速获取对应的故障处理措施及注意事项提醒及推进处理步骤等，辅助维修工程师快速排查及定位问题。

通过以上举措，极大推进了航空维修场景数字化转型，将“智慧化”深入业务场景提高维修效率与质量。

通过大模型的新一代智能维修方案，不仅可以大幅度提升飞机维修的效率和质量，减少人为错误，保障飞行安全，还实现了对飞机故障的精准预测和预防，避免故障发生，保障飞机的正常运行。使用大模型的新一代智能维修方案，可以减少人力资源的投入，降低飞机维修的成本，提高企业的经济效益。基于大模型知识流转，沉淀高价值知识，实现知识的不断完善和优化，形成可复用的故障维修知识库，实现维修知识的多场景复用。

（六）产品全生命周期管理

在航空产业中，产品全生命周期管理（**Product Lifecycle Management, PLM**）的关键价值在于其能构建覆盖产品全生命周期的数字主线，实现需求、设计、仿真、工艺、制造、运维的数据闭

环。**PLM** 可以解决航空装备制造中数据孤岛问题，支持千人级在线协同，提升研发效率，降低工程变更成本。并且，**PLM** 还能对生产资源进行有效管理，全面管理产品质量，通过数字化预装配等方式减少返工成本，提高产品的可靠性和安全性，助力航空装备制造企业在复杂的全球产业链中高效、合规地开展业务。

因此，**PLM** 凭借对航空装备全生命周期数据的统一管控、跨环节协同支撑及合规保障，成为破解其研发复杂、周期长、合规要求高难题的核心技术体系，是推动航空装备制造数字化与高效迭代的关键支撑。

1. 案例名称

国产大飞机供应商利用 **SIPM/PLM** 建设航空零部件技术开发管理平台

2. 案例建设方

上海思普信息技术有限公司（思普软件）-提供智能制造核心技术与全生命周期管理解决方案供应商，长期聚焦企业研发管理解决方案。

3. 案例建设需求方

浙江西子航空工业有限公司（以下简称“西子航空”）主要承担 C919 大型客机机体结构件的研制生产及飞机零部件制造等业务。

4. 案例实施背景

为使西子航空的信息化平台建设价值能更好地服务于其企业管

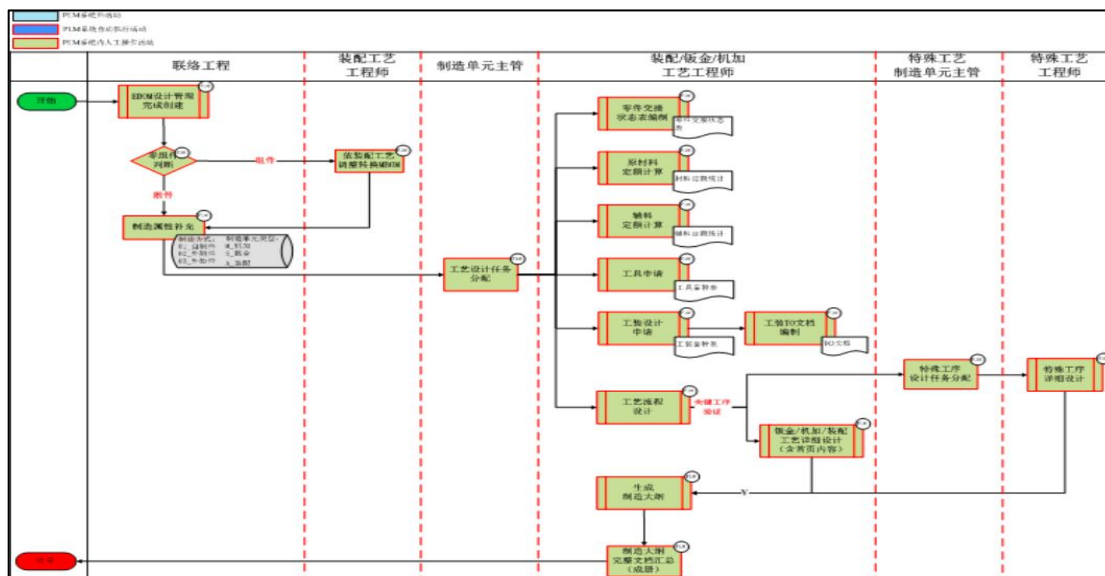
理及业务发展的需求,西子航空公司结合自身信息化管理建设思路,最终确定由思普软件为西子航空的产品项目开发设计管理提供SIPM/PLM系统解决方案服务。

该期实施的主要模块有:项目管理、产品管理、物料清单(BOM)管理、图文档管理、零部件分类管理、变更管理、工作流管理、工艺管理(工时、材料定额、工装等)、工艺设计管理(CAPP)、编码管理、知识库管理等。

5. 案例实施路径与成效

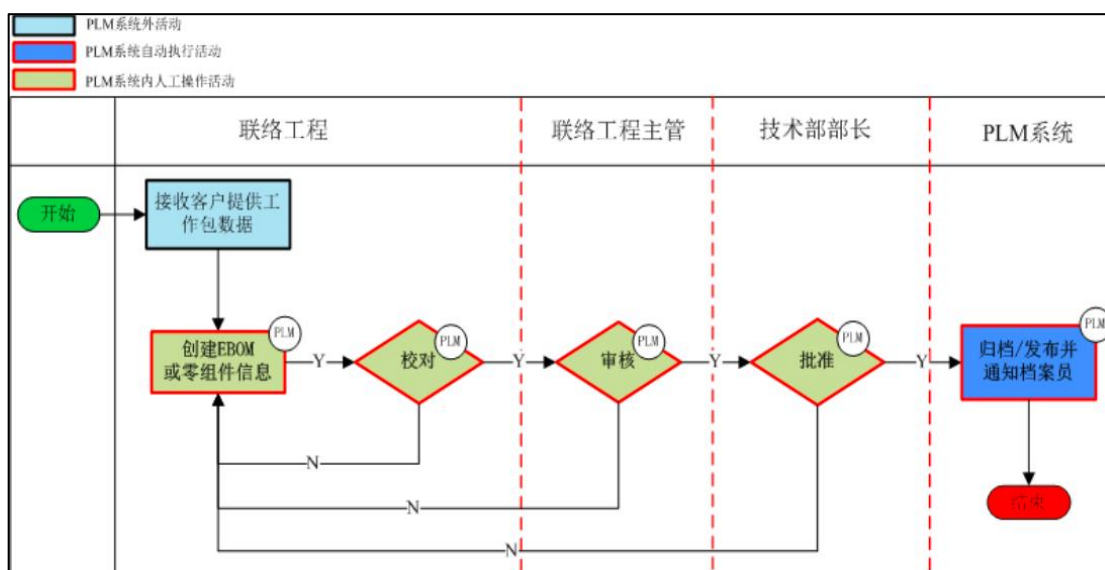
(1) 梳理优化业务流程

此次流程标准化建设涵盖多个关键业务环节,既包括项目管理相关的流程,如新增项目分类、工作包等系统分类的申请管理业务流程等,也包含与产品设计和工艺相关的流程,像工程物料清单(EBOM)设计管理业务流程、工艺设计管理业务流程、工程更改贯彻管理业务流程、EBOM变更执行管理业务流程。此外,也纳入了工装设计管理业务流程,通过对这些流程的标准化构建,为航空配套产业的业务开展提供更规范、高效的流程支撑。



来源：思普软件

图 18 梳理优化业务流程（样例 1）



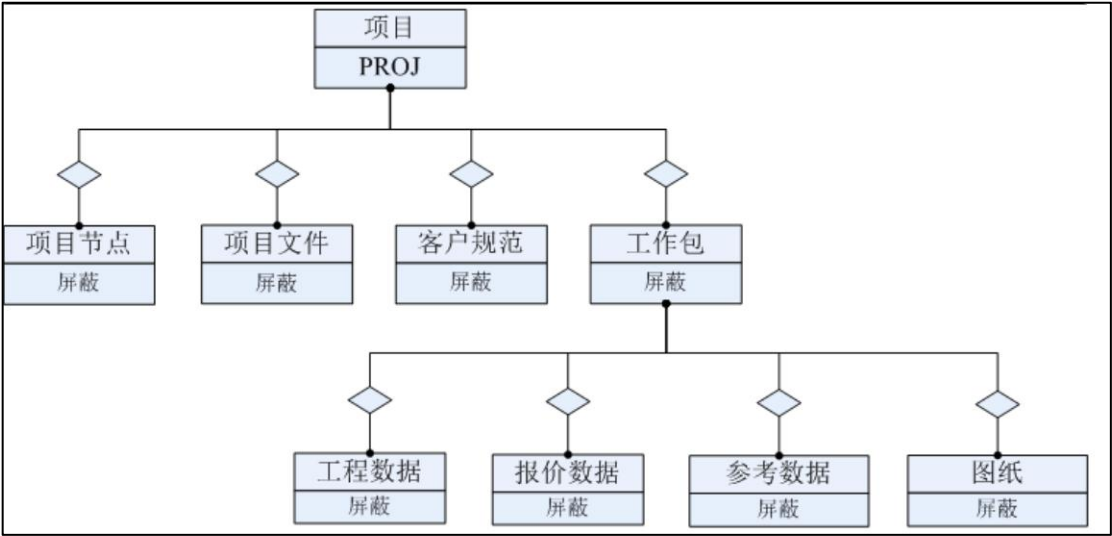
来源：思普软件

图 19 梳理优化业务流程（样例 2）

（2）基于业务构建数据模型

航空配套产业的输入获得以主机厂的工作包为源头，一切研发管理的源头为工作包，西子航空以项目为工作过程的统筹工具，以工作包为工作切入点，以设计工作的工程数据为工作包的配套产出，

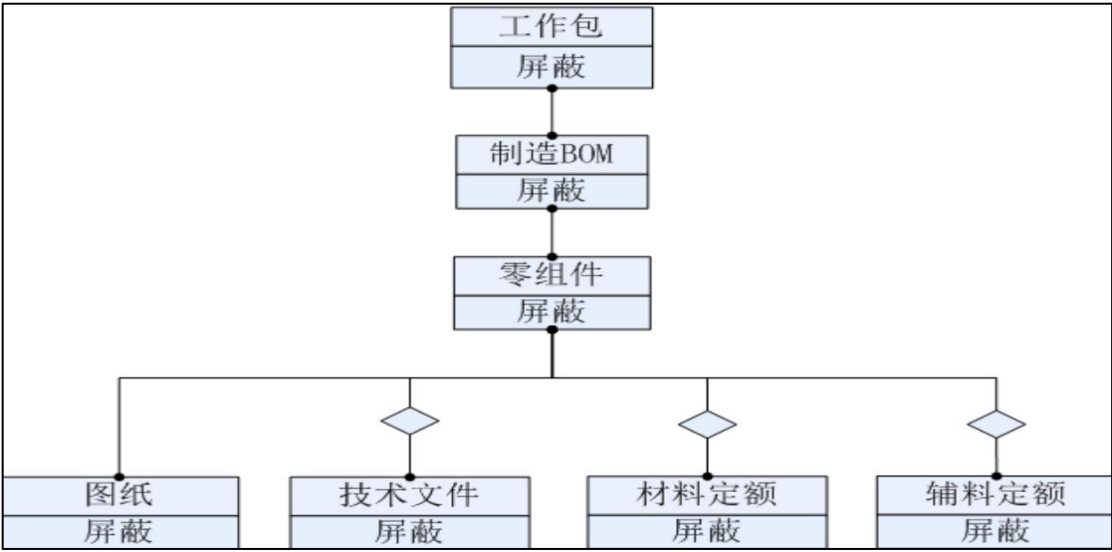
形成设计管控过程。



来源：思普软件

图 20 构建以工作包为中心的管理模型（样例 1）

工程数据设计完毕后，进入核心设计工作区——工程数据，这包括零组件及其对应的制造 BOM、工艺文件、工装、材料定额等。其中具体包括：项目与工作包、工作包与制造物料清单（MBOM）、工装与工装 BOM、零组件及其工艺设计数据管理。



来源：思普软件

图 21 构建以工作包为中心的管理模型（样例 2）

（3）原工作包数据管理

基于西子航空现有的大量的工作包数据尚属于人工管理阶段的情况，要实现对数据有效的管理，就需要妥善处理这部分数据，但其原则就是按照新梳理的标准模型和过程进行管理，因此西子航空通过分析原工作包数据，分门别类进行线下标准化，然后录入上线。

序号	属性名称	数据描述或处理描述
1	公司	默认“8002”
2	物料编码	
3	物料描述	
4	物料类型	原材料、标准件、危化品、辅料为P；其他零部件为M
5	物料单位类别	
6	库存单位	
7	采购单位	默认“库存单位”一致
8	销售单位	默认“库存单位”一致
9	物料版本号	该物料关联的工艺流程的版本号
10	物料版本描述	该物料关联的工艺流程的版本号（与上一致）
11	版本图号	该物料关联的二维图纸的图号
12	是否序列号追踪	限工装、量检具、产品
13	序列号仅含数字	默认“INTEGER”
14	序列掩码类型	默认“SN02”
15	序列号导入为零	默认“TRUE”
16	序列号位数	默认“20”
17	产品群组	默认“ProdGP02”

来源：思普软件

图 22 Epicor ERP 接口集成图

西子航空的系统实施较为迅速且应用较为深入，完成了企业信息流打通，满足了当前和未来较长时间企业的设计研发管理。

（七）数据治理

为贯彻落实习近平总书记关于推动数字经济和实体经济融合发展的重要指示精神，落实关于加快推进智慧民航建设的战略举措，民航局印发《智慧民航建设路线图》和《智慧民航数据治理规范》，

要求完善民航数据治理体系，落实民航强国建设，促进民航高质量发展。在大数据、人工智能、云计算等新技术的蓬勃发展的背景下，数据这一重要新型生产要素的重要价值日趋显现，数字化管理已成为各行业企业业务发展重要原动力。

1. 案例名称

以新型数智化平台赋能航空企业能源数字化转型

2. 案例建设方

用友网络科技股份有限公司（用友）专注于企业服务领域，提供包括 ERP（企业资源管理）、CRM（客户关系管理）、SCM（供应链管理）、HRM（人力资源管理）等在内的全面企业管理软件和解决方案。

3. 案例建设需求方

成都航空有限公司（以下简称“成都航空”）经营范围涵盖国际国内航空客货运输及航空器材进出口业务。经过多年的信息化建设，成都航空已经建设了 60 余套信息系统，公司 ERP 平台在 2022 年建设完成后，实现人财物维修等数据轻度数据治理及集中管控，公司也因此积累了蕴含较高价值的数据资产，为公司数字化转型奠定了坚实基础。

4. 案例实施背景

在数字化转型的背景下，航空产业由于其固有的业务链条长、成本结构复杂等特征，在庞大的数据规模与集成程度下，传统的发

展模式与路径已无法满足航空产业高集成度数据处理与精细化资源管理需求。当前，整个航空领域在节油数据资产利用方面仍面临显著瓶颈，大量有价值的节油需求数据处于“沉睡”状态，未能充分释放价值。与国外代表性航空企业相比，国内航空企业在数字化转型中的能源数据分析与管理方面仍存在以下不足：

一是数据整合效率低。节油需求相关数据分散存储于航班计划系统、航班运行控制系统（FOC）、企业资源管理（ERP）等多个独立业务系统中，系统间数据未形成有效联通，呈现分散存储格局。

二是数据标准建设滞后。当前行业内尚未建立针对节油数据的统一标准规范，既没有明确数据采集的范围、格式与频率，也缺乏对数据存储、治理、共享全生命周期的标准化管理流程。数据从产生到应用的每个环节都缺乏清晰指引，导致不同部门、不同业务场景下的节油数据难以互通互认，无法形成统一的数据资产共享库，严重制约了对数据价值的深度挖掘能力。

三是数据利用效能有待提升。现有节油数据分析体系存在明显短板：一方面，精细化节油数据分析不仅耗时漫长，部分细分维度的分析结果甚至无法及时获取，难以支撑运营决策；另一方面，应对需求变更的灵活性不足，传统节油分析软件架构固化，不仅投入成本高、周期长，还严重牺牲响应效率，企业在技术上高度依赖外部力量，缺乏自主分析能力。

上述问题相互叠加，直接导致航空节油领域的数据化分析进程推进缓慢，无法为节油政策的制定、优化提供精准、及时的数据支

撑，制约了航空运营节油效能的进一步提升。

5. 案例实施路径与成效

燃油支出作为航空公司运营成本中重要支出项目，在国内航空公司的总计直接运行成本中一般占到 25%至 30%。经过数据调研与测算，在整个公司在 2021 年的数据下，成都航空如果总体节油 1%，每年节油量大约为 3 千多吨，每吨按 5000 元计算，则节约现金为 1500 多万元人民币。燃油成本的节约不仅可以显著改善成都航空的财务表现，还可以为其在激烈的市场竞争中赢得更多的运营灵活性。

伴随着数据量的与日俱增，成都航空对业务的理解受大数据思维的影响而变得越来越活跃，日益复杂的应用需求、应用的个性化要求日益增多、模型的快速个性化开发、应用的实时交流与共享、专项行动支撑等敏捷式交互已成主流。

（1）新型数智化平台赋能航空产业能源数字化转型

成都航空通过数智化商业创新（BIP）平台，打造了“一个平台、两套体系、三大主题”的深度数智化转型升级方案，推进了高水平的能源数字化转型，实现高质量的企业能源信息处理与利润分析：

“一个平台”：基于智能节油平台，集成航空飞行相关业务系统，采集全量航班飞行数据（包括快速存取记录器，即 QAR），对航班飞行时间、机型、航段等多个来挖掘耗油因素和变化规律，从而分析出节油优化空间，同时匹配改进措施落地。

“两套体系”：构建符合成都航空管理需要的数据治理体系，

通过 PDCA 循环³²不断迭代、优化数据治理方案和产品。

通过全面整合数据指标体系，构建节油分析等数据模型，为后续数据分析、挖掘应用奠定基础。

“三大主题”：基于智能节油、降碳减排、智能保养分析主题，自动化出具油耗分析、阶段分析、碳排放检测等主题分析报告，并基于规则主动推送预警信息，使得公司内部的数据价值快速变现。通过促进低碳绿色飞行，提升了航司整体竞争力。

通过 iuap 数据管理平台，在业财一体化发展路径上实现了企业内部资源的精细化管理与利润提升，单次数据分析效率从 4 小时降低至 15 秒，航空业务数据质量及准确性提升 20%。

（2）跨部门协同的节油数据支撑体系

成都航空在节油管理与燃油成本相关基础数据管理方面呈现出碎片化特征，亟需一个基于 CFP、QAR、FOC 作为主要数据源的大数据的平台，对比 CFP 和 QAR 的数据差异优化 CFP 的计划制定；同时，可以对 QAR 的实时数据进行阶段性分析，解滑出-起飞-爬升-巡航-下降-进近落地-滑入等阶段的实时数据，基于时间、机型、航段等多各维度来挖掘耗油因素和变化规律，从而发现节油的优化空间来确定合适的节油措施，提供给飞行机组、运行控制、维修、财务等部门，以推进节油工作的开展。

³² PDCA 又名持续改进的管理循环，被广泛应用于质量管理和流程优化中。首先，在计划（Plan）阶段，制定明确的目标和策略，确定问题所在并提出解决方案。接着进入执行（Do）阶段，按照计划实施具体措施。然后，通过检查（Check）阶段，评估执行结果与预期目标之间的差距，找出问题所在。最后，行动（Act）阶段根据检查结果进行调整和优化，确保问题得到纠正，并为下一轮的改进做好准备。PDCA 通过这一循环不断提升工作效率和质量，确保持续改进。

（八）智慧机场建设

在当今全球产业数字化浪潮下，中国民航运营产业的发展模式正经历着深刻变革，数字化与智慧机场建设成为行业发展的关键方向。随着生活节奏的加快，旅客对出行便捷性、高效性的要求日益提升。在此背景下，民航数字化协同已成为必然趋势，也是国内民航运营业顺应全球发展潮流、落实国家战略部署、满足旅客需求、提升自身竞争力的关键举措，将为各大民航产业主体高质量发展注入强大动能。

1. 案例名称

以民航数字化领先战略赋能高水平数字机场建设

2. 案例建设方

广东省机场管理集团有限公司（广东机场）是一家国有大型航空运输服务保障企业，下辖广州白云、揭阳潮汕、湛江、梅州、惠州、韶关、珠三角枢纽等 7 家机场公司与 6 家成员单位，主营业务包括机场投资、建设、运营和管理 and 空港经济开发。

3. 案例建设需求方

广东机场集团下辖的 7 家机场公司与 6 家成员单位

4. 案例实施背景

“十四五”时期，国内各大民航企业紧紧依托国家政策导向，积极响应国家对民航产业数字化转型的要求，着力提升服务效能与水平，实现民航业总体水平提质增效，综合力、竞争力和凝聚力不

断增强，为下一步的发展奠定了坚实基础。然而，在国内民航产业快速发展，各地机场集团积极推进数字化转型的同时，数据孤岛、数据效能不足、数字化推进难度大三大难题尤为突出，其具体表现为：

一是数据、信息系统孤岛问题凸显。民航集团企业信息系统存在封闭不共享问题，接口的统一管理尚不完善，各系统间数据交互的通道和平台化赋能的渠道较少。

二是存在数据资产不明晰、数据资源浪费问题。受信息系统数据壁垒掣肘，部分民航企业尚未形成完善的数据资产体系与全机场集团的数据资产目录。

三是联动协同难度大，数据交换与接口标准适配积极性不高。目前的发展阶段下，民航企业纷纷建立了各自的数据管理平台与共享平台。此举虽极大增强了数据应用的便携性，有效提升了航空企业数字化水平，但这种巨大信息总量的共享带来的数据安全问题与单个民航企业的数据安全保障能力尚不匹配。

5. 案例实施路径与成效

目前，广东机场集团抓紧落实国家政策导向和行业要求，积极响应国家对国有企业数字化转型的要求、贯彻民航新基建和四型机场建设的重大战略，正深度推进数字化转型规划。

（1）加快科技自立自强，夯实数字化转型基础

1) 提升算力资源与存储，优化升级基础网络设施

在基础能力方面，广东机场目前的算力规模已达到 20 万核

Vcpu，存储规模达到 10PB。集团光纤骨干网带宽提升 10 倍至 10 万兆，各机场局域网接入带宽达到 1 千兆，广域网带宽达到 1 百兆。

2) 深度推进国产方案适配进程，提升数字技术自主可控能力

深化安全可靠应用替代工作，推动国产化设备和关键软件替代，国产化算力资源占比达到 50%，综合办公类系统实现 100%自主研发，经营管理类系统自主研发替代比例达到 50%；持续加大研发投入，制定研发准备金制度，研发投入强度达到 3%；强化研发机构、专精特新等科创平台建设，推动产学研深度融合。

(2) 加强全环节数字化赋能，实现数字化与业务流程深度交融

1) 加快运行智慧化，实现智慧运行

白云机场实现全区域覆盖、全流程管控的秒级运行、精准控制，运行保障节点智能化自动采集率达到 100%，业务数字化率达到 95%，完成 10 个以上行业领先的与人工智能深度融合的应用场景；打造全流程智能化机场运行协作平台，为各单位提供基于人工智能的航班运行保障服务，实现机场全领域全要素运行态势实时感知、精准预测和高效协同。

2) 加快服务数字化，实现智慧服务

白云机场实现全场景数字化旅客服务，建设全流程一站式数智化服务平台，建成机场集团数字化服务生态圈；白云机场完成 5 个以上行业领先的人工智能深度融合应用场景；各机场全面实现“一张脸”通行机场，行李全流程跟踪服务在国内航班全面实现、国际航班逐步推广，行李门到门服务广泛应用，实现全流程便捷出行。

3) 加快安全数字化，实现智慧安全

以数字化手段构建态势可知、风险可控、事故可防的大安全体系，打造全流程安全智慧监管平台，功能要素数量覆盖安全管理体系（SMS）、空防安全等安全六大体系建设要求的 90%，以数据驱动安全态势全面感知、风险隐患主动防范，实现智能分析、精准预警、快速响应、一键联动，推动安全监管向事前主动预防转变，全面提升安全保障和应急处置水平。

（3）持续深化多机场协同，探索新型平台化合作机制

1) 实现区域战略协同

广东机场集团按照广东省着力打造的“5+4”骨干机场体系战略，对集团内各机场的功能和发展进行差异化定位。在对下属七家机场的智慧机场改造过程中，广东机场主要采用“以大带小”的模式，先通过白云国际机场的“先行先试”，带动其余中小机场的数字化改造。广东机场在各个机场先推广以惠州机场此类中型机场为代表的数字化转型模式，了解其需求与发展短板，从集团层面制定统一的解决方案，助力下辖机场数字化转型实践的落地。

（4）重点推进机场数字孪生技术应用，加快建成数字孪生机场

2024 年底，广东机场合资成立旗下数字孪生专门业务公司，作为集团数字孪生、BIM 咨询、模拟仿真的技术输入同对外输出深度融合的载体，承担模型搭建、标准制定、数据治理与数字交付。

1) 专业场景数字孪生实践

在数字孪生发展主题下，广东机场全面采用 BIM 正向设计，通

过“5D 管理平台”把进度、质量、成本与模型绑定，形成可交付的孪生技术应用平台。竣工后将 BIM 与地理信息系统（GIS）、航空影像、室内定位、5G 专网数据融合，为数字孪生技术的全流程全业务应用奠定了坚实的技术基础。

2) 在全面部署数字孪生技术的同时，形成各应用场景高效协同

广东机场以场景应用为驱动，构建全要素全场景数字孪生机场，实现静态可视、动态可感、数据可通、态势可预、业务可控、决策可优。在多个领先数字孪生场景的应用基础上，形成整个机场集团孪生优质联动生态，在同一数字孪生架构下，更好地发挥了数字孪生技术对于机场提质增效的正向反馈作用。

附录一：英文译文对照表

英文全称	英文简称	中文译名
Digital Design, Manufacturing and Service	DDMS	数字制造设计与服务
Model-Based Systems Engineering	MBSE	基于模型的系统工程
Airport-Collaborative Decision Making	A-CDM	机场协同决策
Air Traffic Flow Management	ATFM	空中交通流量管理
Departure Manager	DMAN	优化离港排序
European Union Aviation Safety Agency	EASA	欧洲航空安全局
Federal Aviation Administration	FAA	美国联邦航空局
Ground Operations Management System	GOMS	地面运行管理系统
Societe Internationale De Telecommunications Aeronautiques,	SITA	国际航空电信协会
Power-By-the-Hour	PBH	按小时计费

International Air Transport Association	IATA	国际航空运输协会
IATA Safety Audit for Ground Operations	ISAGO	地面服务全球 审计标准
Computer Aided Design	CAD	计算机辅助设计
Computer Aided Engineering	CAE	计算机辅助工程
Computer Aided Manufacturing	CAM	计算机辅助制造
Electronic Design Automation	EDA	电子设计自动化
Test Data Management	TDM	实验数据管理
Manufacturing Execution System	MES	制造执行系统
Advanced Planning and Scheduling	APS	生产计划与排程
Programmable Logic Controller	PLC	可编程逻辑控制器
Distributed Numerical Control	DNC	分布式数控
Enterprise Resource Planning	ERP	企业资源管理

Human Resource Management	HRM	人力资源管理
Customer Relationship Management	CRM	客户关系管理
Supply Chain Management	SCM	供应链管理
Quality Management System	QMS	质量管理体系
Enterprise Asset Management	EAM	企业资产管理
Prognostics and Health Management	PHM	故障预测与健康管理
Maintenance,Repair and Operations	MRO	维护、维修及运营 物料管理
Product Lifecycle Management	PLM	产品全生命周期管理
Power Spectral Density	PSD	功率谱密度
Computational Fluid Dynamics	CFD	计算流体力学
High Performance Computing	HPC	高性能计算
Central Processing Unit	CPU	中央处理单元（器）
Graphics Processing Unit	GPU	图形处理单元（器）

Message Passing Interface	MPI	消息传递接口
Input/Output	IO	计算机输入与 输出操作
NVIDIA Collective Communications Library	NCCL	英伟达集合通信库
Logistics Execution System	LES	物流执行系统
LoT	/	生产制造批次
Bill of Materials		物料清单
Computer Aided Process Planning	CAPP	工艺设计管理
Engineering Bill of Materials	EBOM	工程物料清单
Manufacturing Bill of Materials	MBOM	制造物料清单
Flight Operations Control	FOC	航空运行控制系统
Quick Access Recorder	QAR	快速存取记录器
Plan-Do-Check-Act	PDCA	持续改进循环/ 戴明环
Computerized Flight Plan	CFP	计算机化飞行计划
Safety Management System	SMS	安全管理体系
Building Information	BIM	建筑信息模型

Modeling		
Geographic Information System	GIS	地理信息系统

附录二：2025 航空产业数字化场景软件服务厂商图谱

